

+



RÚBEN DOS
SANTOS FÉLIX

ANÁLISE DE NÃO CONFORMIDADES REPETITIVAS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA



Relatório de Dissertação Mestrado em
Engenharia de Produção

ORIENTADOR

Doutora Aldina Soares

Fevereiro 2021

RÚBEN DOS
SANTOS FÉLIX

**ANÁLISE DE NÃO
CONFORMIDADES REPETITIVAS
NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA**

JÚRI

Presidente: Doutora Maria João Pedroso Carmezim,
Escola Superior Tecnologia de Setúbal

Orientador: Doutora Aldina Maria Pedro Soares,
Escola Superior Tecnologia de Setúbal

Vogal: Doutor José Filipe Castanheira Pereira
Antunes Simões, Escola Superior Tecnologia de
Setúbal

Fevereiro 2021

Agradecimentos

Há minha orientadora, a Doutora Aldina Soares, gostaria de agradecer todo o apoio e toda a disponibilidade prestada durante a realização deste Projeto, assim como todos os ensinamentos que sempre procurou facultar-me.

Um agradecimento especial à minha namorada e à minha família que sempre me apoiaram incondicionalmente durante todo este percurso.

Resumo

Qualquer organização desenvolve a sua atividade com o objetivo de entregar os seus produtos com zero defeitos. No entanto, nem sempre os requisitos dos produtos são cumpridos e ocorrem Não Conformidades. Neste projeto trata-se um tipo de não conformidade repetitiva, que ocorre num programa produtivo de uma empresa centenária na indústria aeronáutica, em causa o *Flushness out of Tolerance*. Este defeito tem pesado financeiramente à organização nos últimos dois anos, pelo que este facto exigiu uma análise mais detalhada do processo. Para caracterizar melhor o problema e para a identificação das causas das não conformidades, utilizaram-se técnicas de qualidade mais convencionais, tais como Diagrama de Pareto, Diagrama Ishikawa e *checkList* de verificação. Analisaram-se os dados por tipo de defeito (acima ou abaixo da tolerância) e por subconjunto, para desmistificar alguma preponderância do mesmo, sendo que se pôde concluir que o defeito deriva de causas gerais e não particulares, pois todas as causas identificadas estavam na origem de ambos os tipos de defeitos. Estratificaram-se as causas identificadas e realizou-se uma avaliação simplificada do risco para o produto das mesmas. Após a análise efetuada, foram propostas à organização melhorias ao nível da manutenção das ferramentas de desgaste, método de inspeção, entre outras, capazes de mitigar este defeito no programa.

Palavras-chave: Não Conformidades; Qualidade; Ferramentas da Qualidade; Estudo do Processo;

Abstract

Any organization develops his activity to deliver its products with zero defects. However, product requirements are not always met, and non-conformities occur. This project aims treat a type of repetitive non-conformity, which in a productive program of a century-old company in the aeronautical industry, namely “Flushness out of Tolerance”. This defect has punished the organization financially over the past two years, so was required a more detailed analysis of the process. In order to characterize the problem and to identify the causes of Non-Conformities, the most conventional quality techniques were used, such as Pareto Diagram, Ishikawa Diagram and *checklists*. The data were analyzed by type of defect (above or below the tolerance) and by sub element, to show some preponderance of it and it was concluded that the defect derives from general causes and not from particular causes, due all the causes identified were at the origin of both type of defects. The identified causes were stratified and a simplified risk assessment for the product was made for each cause. After the analysis carried out, improvements were proposed to organization namely in the maintenance of cutting tools, method of inspection, and others, to mitigate this defect in the program.

Keywords: Non-Conformities; Quality; Quality Tools; Process Study;

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Índice	vi
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas.....	xii
Lista de Siglas e Acrónimos	xiv
Lista de Símbolos	xv
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1. Introdução e âmbito do projeto.....	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Metodologia do Projeto	3
1.4. Organização do Relatório do Projeto.....	4
Capítulo 2	5
Gestão da qualidade numa organização	5
2.1. Qualidade.....	6
2.2. Princípios de Gestão da Qualidade	7
2.3. Custos da Qualidade	9
2.4. Controlo da Qualidade	14
2.5. Fatores Humanos.....	17
2.6. Ferramentas da Qualidade.....	18
2.6.1. Folhas de Verificação.....	21
2.6.2. Diagrama de Ishikawa.....	23
2.6.3. Diagrama de Pareto	25
2.6.4. Fluxograma	27
2.7. Exemplo Prático	31
Capítulo 3	35
Caso de Estudo	35
3.1. Fixação de Estruturas Aeronáuticas.....	36

3.2. Caracterização da Empresa	41
3.3. Caracterização do Problema	42
3.4. Caracterização do Elemento	43
3.5. Caracterização do Processo de Escarear	52
3.6. Análise das Não Conformidades	56
3.7. Análise ao Processo	67
Capítulo 4	75
Análise Geral dos Resultados	75
4.1. Reclamações de Cliente e Não Conformidades	76
4.2. Processo de Escarear	79
Capítulo 5	81
Propostas de melhoria	81
5.1. Checklist de Manutenção Produtiva Total	82
5.2. Batentes de Fixação dos Subconjuntos nas Bancadas	84
5.3. Conceito <i>Quick Lesson</i>	87
5.4. Calibre Passa – Não Passa.....	89
Capítulo 6	95
Conclusões	95
6.1. Conclusões	96
6.2. Perspectivas de trabalhos futuros	97
Bibliografia	98
Anexo I.....	A.1
Anexo II.....	A.2
Anexo III.....	A.3
Anexo IV	A.4
Anexo V	A.5
Anexo VI	A.6
Anexo VII	A.7

Lista de Figuras

Figura 2.1-1 Método comparativo entre Método convencional de aceitação de um produto (à esquerda) e Método de Taguchi (à direita)	7
Figura 2.3-1 Quantidade de "Recalls" na indústria automóvel	10
Figura 2.3-2 Esquema dos Custos da Qualidade	11
Figura 2.3-3 Fluxograma de resolução de reclamações	12
Figura 2.4-1 Fotografia do MACS sobre diferentes ângulos	15
Figura 2.4-2 Estrutura do estabilizador horizontal do Boeing 707-300 série 1 ..	16
Figura 2.4-3 Douglas DC-10-10 da United Airlines	16
Figura 2.5-1 Influência dos Fatores Humanos	17
Figura 2.6-1 Campos de aplicação das ferramentas de qualidade	20
Figura 2.6-2 Diagrama de Ishikawa	24
Figura 2.6-3 Resultados da Inspeção Final de um Produto	26
Figura 2.6-4 Ciclo PDCA	29
Figura 2.7-1 Monitorização de falhas nos produtos	32
Figura 2.7-2 Diagrama de Pareto – Nº Falhas por Tipo de Defeito	33
Figura 2.7-3 Diagrama de Pareto – Custo (milhares de euros) por Tipo de Defeito	33
Figura 2.7-4 Diagrama de Ishikawa para o problema de "Erros de aplicação das etiquetas"	34
Figura 3.1-1 Provetes utilizados no ensaio experimental	36
Figura 3.1-2 Provetes durante o ensaio experimental	37
Figura 3.1-3 Carga (kN) vs Deslocamento (mm)	37
Figura 3.1-4 Tensão (MPa) vs Deformação (%)	38
Figura 3.1-5 Parafuso de cabeça escareada	38
Figura 3.1-6 Provete de ensaio	39
Figura 3.1-7 Fratura do provete por fadiga	39
Figura 3.1-8 Simulação elementos finitos	40
Figura 3.1-9 Método de inspeção de ferramentas de escarear e furar	40
Figura 3.1-10 Imagem utilizada na inspeção de ferramentas de furar	41

Figura 3.3-1 - Distribuição Pareto - Reclamações Cliente - Programa X	42
Figura 3.4-1 <i>Pylon</i>.....	44
Figura 3.4-2 Constituição do <i>Pylon</i>.....	44
Figura 3.4-3 Estaleiro (<i>JIG</i>) de montagem do conjunto superior	45
Figura 3.4-4 Fluxograma de Montagem do Conjunto Superior	45
Figura 3.4-5 Linha de montagem do conjunto superior	46
Figura 3.4-6 Áreas de Cravação Subconjunto 1	48
Figura 3.4-7 Áreas de Cravação Subconjunto 2	48
Figura 3.4-8 - Representação do termo <i>flushness</i>.....	50
Figura 3.4-9 Caracterização das Tolerâncias Admissíveis por Zona do Elemento	51
Figura 3.5-1 Material necessário para executar o processo de escarear	53
Figura 3.5-2 Teste do escareado no corpo de prova	53
Figura 3.5-3 Afinação da fresa e medição do escareado efetuado	54
Figura 3.5-4 Iniciação dos escareados do elemento conjunto superior e respetiva avaliação com comparador	54
Figura 3.5-5 Conformidade de um escareado	54
Figura 3.5-6 Suporte Micrométrico	55
Figura 3.5-7 Processo de avaliação da conformidade de um escareado.....	56
Figura 3.6-1 Tratamento de Reclamações dentro da Organização.....	57
Figura 3.6-2 Quantidade vs Conjunto Superior afetado.....	58
Figura 3.6-3 Quantidade vs Subconjunto afetado.....	58
Figura 3.6-4 Quantidade vs Elemento	59
Figura 3.6-5 Quantidade vs Subconjunto	60
Figura 3.6-6 Reclamações de Cliente por tipo de defeito	61
Figura 3.6-7 Tipo Defeito vs Elemento (Reclamações Cliente).....	61
Figura 3.6-8 Tipo Defeito vs Zona do elemento (Não Conformidades Internas)	62
Figura 3.6-9 Tipo Defeito vs Elemento (Não Conformidades Internas)	63
Figura 3.6-10 Áreas de cravação do subconjunto 1	63
Figura 3.6-11 Elementos reportados no controlo de qualidade acima da tolerância no subconjunto 1.....	64
Figura 3.6-12 Elementos reportados no controlo de qualidade abaixo da	

tolerância no subconjunto 1	65
Figura 3.6-13 Áreas de cravação do subconjunto 2	65
Figura 3.6-14 Elementos reportados no controlo de qualidade acima da tolerância no subconjunto 2.....	66
Figura 3.6-15 Elementos reportados no controlo de qualidade abaixo da tolerância no subconjunto 2.....	67
Figura 3.7-1 Diagrama de Ishikawa para análise do defeito <i>Flushness out of tolerance</i>	68
Figura 3.7-2 Presença de limalhas nas fresas de escarear	69
Figura 3.7-3 Desgaste e falta de material no limitador das fresas de escarear	69
Figura 3.7-4 Suporte micrométrico das fresas de escarear fixos com fita-cola	70
Figura 3.7-5 Flexão submetida aos subconjuntos aquando da furação nas bancadas 1 e 2.....	70
Figura 3.7-6 Folga presente entre a bancada 1 e 2 e o respetivo subconjunto	71
Figura 3.7-7 Comparador utilizado pelo controlo de qualidade e produção para verificação das tolerâncias do <i>flushness</i>	72
Figura 4.1-1 Análise Global da Não Qualidade por Conjunto Superior	76
Figura 4.1-2 Análise Global da Não Qualidade por Tipo de Defeito.....	77
Figura 4.1-3 Divisão do subconjunto 1 em áreas de cravação	78
Figura 4.1-4 Divisão do subconjunto 2 em áreas de cravação	78
Figura 5.1-1 Exemplo de aplicação do torque seal no suporte micrométrico ...	82
Figura 5.2-1 Representação em software CAD do subconjunto na bancada de montagem	84
Figura 5.2-2 Implementação do batente na bancada de subconjuntos	85
Figura 5.2-3 Placa de Nylon 66	85
Figura 5.2-4 Resultado esperada após implementação dos batentes nas bancadas	86
Figura 5.4-1	89
Figura 5.4-2 Avaliação do <i>flushness</i> com o auxílio do calibre passa - não passa fabricado em impressão 3D.....	90
Figura 5.4-3 Calibre passa - não passa fabricado em Nylon 66	91
Figura 5.4-4 Avaliação do flushness com o auxílio do calibre passa - não passa fabricado em Nylon 66	92

Figura 5.4-5 Suporte de calibração fabricado em Nylon 66	92
Figura 5.4-6 Sobreposição dos elementos antes da verificação no Projetor de Perfis.....	93
Figura 5.4-7 Validação do processo de calibração no projetor de perfis.....	94

Lista de Tabelas

Tabela 2.3-1 Distribuição dos custos da qualidade dos diferentes projetos, como percentagem dos custos totais da qualidade	13
Tabela 2.6-1 Procedimento <i>DMAIC</i>	19
Tabela 2.6-2 Lista de Defeitos Desorganizada	21
Tabela 2.6-3 Lista de Defeitos Organizada	22
Tabela 2.6-4 Resultados da Inspeção Final de um Produto	26
Tabela 2.6-5 Simbologia utilizada em Fluxogramas	27
Tabela 2.6-6 Relação entre ferramentas da qualidade	31
Tabela 2.7-1 Tipo de falha e causa	32
Tabela 3.4-1 Especificação de elementos aplicados no Subconjunto 1 (Extraído da documentação de cliente)	47
Tabela 3.4-2 Especificação de elementos aplicados no Subconjunto 2 (Extraído da documentação de cliente)	47
Tabela 3.4-3 Matriz Localização dos Elementos aplicados no Subconjunto 1	48
Tabela 3.4-4 Matriz Localização dos Elementos aplicados no Subconjunto 2	49
Tabela 3.4-5 Probabilidade de falha por zona de cravação do subconjunto 1	49
Tabela 3.4-6 Probabilidade de falha por zona de cravação do subconjunto 2	50
Tabela 3.4-7 - Distribuição das tolerâncias por zona	51
Tabela 3.4-8 – Fases de Controlo de Qualidade do Conjunto Superior	52
Tabela 3.6-1 Reclamações de Cliente	58
Tabela 3.6-2 Não Conformidades Internas	59
Tabela 3.6-3 Reclamações de Cliente por tipo de defeito	60
Tabela 3.6-4 Não Conformidades Internas	62
Tabela 3.6-5 Resultados do controlo de qualidade efetuado no subconjunto 1	64
Tabela 3.6-6 Resultados do controlo de qualidade efetuado no subconjunto 2	66
Tabela 3.7-1 Descrição da probabilidade associada ao risco	73
Tabela 3.7-2 Descrição do impacto associado ao risco	73

Tabela 3.7-3 Classificação do Risco	73
Tabela 3.7-4 Gestão de Implementação de Melhorias	74
Tabela 3.7-5 Avaliação Simplificada de Risco para o Produto	74

Lista de Siglas e Acrónimos

AHP	Analytic Hierarchy Process
AS	Aeronautical Standards
CAD	Computer Aided Design
DMAIC	Define – Measure – Analyse – Improve – Control
DOA	Design Organization Approval
EOQ	European Organization for Quality
FAI	First Article Inspection
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FSW	Friction Stir Welding
ISO	International Organization for Standardization
KPA	Key Performance Area
KPI	Key Performance Indicators
LBW	Laser Beam Welding
MACS	Multifunction Automated Crawling System
NASA	National Aeronautics Space Agency
PFMEA	Process Failure Mode and Effects Analysis
POA	Production Organization Approval
PPAP	Production Part Approval Process
QSM	Quality Systems Management
RPN	Risk Priority Number
TAI	Turkish Aerospace Industries
TPM	Manutenção Produtiva Total

Lista de Símbolos

LIE	Limite inferior de especificação
LSE	Limite superior de especificação
$u.p$	Unidades produzidas
y	Valores da característica em medição
y_0	Valor alvo

Capítulo 1

Introdução

No presente capítulo é apresentado o objetivo e âmbito do projeto, abordando temas como a “Qualidade” e os custos da qualidade, nomeadamente com reclamações de cliente, estando estas na origem da realização deste projeto. Seguidamente é apresentada a metodologia a seguir de forma a atingir os objetivos propostos, seguida da organização do relatório do projeto com a síntese de cada capítulo.

1.1. Introdução e âmbito do projeto

A “Qualidade” na indústria aeronáutica desde sempre foi encarada como um tema relevante e bastante crítico por estar diretamente associada à segurança. Por esse motivo o controlo da qualidade e a prevenção de falhas aplicadas aos processos desta indústria devem ser bastante sólidos. O setor em si não permite a existência de falhas pois qualquer erro pode ser fatal, como tal, deve-se antecipar qualquer tipo de falha e implementar medidas para as conter.

Por vezes na indústria aeronáutica, o fluxo produtivo pode ser complexo e extenso, o que poderá originar em alguma das diversas fases produtivas fadiga ao profissional que executa as diversas funções. Este fator é considerado como um dos mais influentes para a falha humana durante a realização das suas atividades (Kolus et al., 2018), o que origina não conformidades. Neste sentido, é necessário também que se estabeleçam *Quality Gates* durante as diversas fases do fluxo produtivo, isto é, um método que procure agir diretamente com os erros humanos no local de trabalho onde os mesmos são originados (Parreiras et al., 2014).

A qualidade deixou de ser apenas um conceito e tornou-se a base para que qualquer organização se possa manter competitiva num mercado cada vez mais exigente (Cruz, 2016). Com esta evolução, passou a dar-se um enfâse maior aos custos da não qualidade, sendo estes custos resultantes de retrabalho, sucata ou ainda de custos para com reclamações de cliente, após a entrega do produto. Estas, pertencem a um dos principais grupos na origem deste conceito, os custos para com falhas externas, que além de danificarem a imagem de qualquer empresa, podem ter impactos avassaladores quer a nível financeiro quer ao nível confiança entre ambas as partes (Simga-Mugan & Erel, 2000).

Assim surgiu a necessidade de analisar não conformidades repetitivas detetadas no cliente, ao nível de um programa produtivo denominado por “*Pylon*”, numa empresa com dez décadas de existência no ramo da Aeronáutica em Portugal. O “*Pylon*” é um componente estrutural existente em cada lado de algumas aeronaves civis e militares de uso privado com capacidade máxima que varia entre 12 e 16 passageiros, com a função de suportar os dois motores laterais da aeronave à fuselagem central da mesma.

Estas não conformidades têm pesado financeiramente nos últimos dois anos civis e, como tal, é necessário analisar os dados relativos a estas não conformidades através de ferramentas da qualidade e procurar soluções para os problemas identificados, rever os processos relacionados com estas não conformidades e planear a implementação dessas mesmas soluções que mitiguem os defeitos e gerem valor ao programa.

1.2. Objetivos

O presente projeto teve como objetivo principal a proposta de melhorias que eliminassem ou mitigassem defeitos repetitivos de um determinado programa produtivo, assim como os custos associados aos mesmos, quer ao nível de reclamações de cliente quer como não conformidades internas. Para alcançar este objetivo foram utilizadas diversas ferramentas da qualidade para análise e resolução de problemas.

Pretendeu-se encontrar soluções para os problemas identificados, assim como propor a sua implementação através de um planeamento cuidadoso. Tal ação parte do contexto das funções exercidas por um profissional na área da qualidade, como é o caso, nesta empresa do setor aeronáutico, que com o cumprir destes objetivos, aumentará a satisfação do cliente, reduzindo o número de não conformidades detetadas e melhorando os processos envolvidos na análise.

Desta forma, é necessário conhecer e selecionar as ferramentas e metodologias atualmente disponíveis, de modo a aplicar a mais correta em cada situação, e ainda métodos de resolução de problemas utilizados nesta indústria ou equivalentes que permitam auxiliar a análise.

A seleção e correta aplicação das ferramentas da qualidade e análise detalhada do problema são objetivos complementares que resultam da concretização deste projeto.

1.3. Metodologia do Projeto

O plano para este projeto passa por seguir por perto as metodologias de resolução de problemas usadas na Qualidade, que são revistas e analisadas numa primeira fase. Como fonte suplementar de informação, foi elaborada uma pesquisa bibliográfica sobre casos semelhantes e soluções encontradas na literatura, de forma a analisar soluções para o presente caso prático.

Numa segunda fase é detalhado o âmbito do caso de estudo, dentro das não conformidades repetitivas do programa produtivo “*Pylon*”, nomeadamente o tipo de defeito e o período de recolha dos dados, de forma a serem estudados os processos e elementos diretamente ligados ao mesmo.

Após a escolha do problema a tratar, foram recolhidos e tratados todos os dados relativos ao mesmo, através de ferramentas da qualidade tais como diagrama de Pareto, fluxogramas e listas de verificação.

Com os dados tratados, foi efetuado um *brainstorming* conjunto com a equipa de análise e resolução de problemas formada para o efeito, para inventariar as possíveis causas para a ocorrência do problema, de forma a tratar cada uma delas. O conjunto de soluções encontradas foram analisadas e priorizadas quanto à sua implementação, de acordo com uma avaliação simplificada do risco para o produto efetuada para cada tipo de causa identificada. O objetivo passa por oferecer soluções à organização que permitam ajudar a mitigar o problema em análise.

1.4. Organização do Relatório do Projeto

O presente relatório do projeto encontra-se estruturado em cinco capítulos.

O primeiro capítulo, compreende o enquadramento do projeto e o âmbito do projeto, nomeadamente onde se apresenta a motivação do projeto, os objetivos traçados, a metodologia utilizada e a estrutura geral do relatório do projeto.

O segundo capítulo, expõe a revisão bibliográfica efetuada de acordo a temática escolhida. São abordados conceitos como qualidade, gestão da qualidade numa organização, custos da qualidade, são apresentados alguns métodos de fixação de estruturas na indústria aeronáutica, controlo da qualidade e a temática da fiabilidade humana. São ainda apresentadas as principais ferramentas da qualidade assim como a metodologia de cada uma, no sentido de entender o campo de aplicação de cada uma.

O terceiro capítulo, caracteriza o caso de estudo do projeto, assim como a motivação para a realização do mesmo. É caracterizado o processo que origina o defeito a ser analisado e é efetuada a recolha e tratamento de dados relativos ao tipo de defeito. É ainda analisado o processo num todo, efetuando uma análise de possíveis causas através de ferramentas da qualidade. É efetuada uma avaliação simplificada do risco para o produto das causas identificadas para a ocorrência do defeito, de forma a priorizar as ações que surgirem da análise ao processo.

O quarto capítulo, analisa de uma forma geral todos os dados tratados anteriormente, inclusivamente o processo em si.

O quinto capítulo, sumaria soluções de melhoria, sendo estas ligadas ao processo e à componente de formação técnica e teórica de novos operadores.

O sexto capítulo, sintetiza as conclusões retiradas com o presente projeto e apresenta as perspetivas de trabalhos futuros sobre o tema.

Capítulo 2

Gestão da qualidade numa organização

É apresentada neste capítulo a pesquisa bibliográfica realizada sobre casos semelhantes e soluções encontradas na literatura, de forma a analisar soluções para o presente caso prático deste projeto. São abordados temas como o conceito da qualidade, os custos da qualidade, a forma como é gerida a qualidade dentro de uma organização no geral, são detalhadas algumas das ferramentas da qualidade utilizadas na análise e resolução de problemas e ainda uma aplicação prática das mesmas.

2.1. Qualidade

São inúmeras as definições para o conceito qualidade, desde logo porque cada pessoa tem a sua própria definição desse conceito. Joseph Moses Juran, afirma que destas inúmeras definições, existem duas de elevada importância para a gestão da qualidade (Juran, 1998).

A primeira é que as características intrínsecas a um determinado produto devem corresponder aos requisitos do cliente para assim garantir a sua satisfação. A intenção de qualquer empresa que se quer manter competitiva no mercado é manter elevados os níveis de qualidade, de modo a aumentar a satisfação dos clientes e a procura pelos seus produtos, aumentando assim as suas receitas. No entanto, a qualidade requer um elevado investimento ao nível dos processos e dos seus envolventes, traduzindo-se numa afirmação popular de que maior qualidade “custa mais”.

A segunda é que qualidade significa produto livre de defeitos e/ou deficiências, isto é, um produto que não requeira retrabalho originado por algum tipo de falha, que não cause insatisfação do cliente nem algum tipo de reclamação por parte do mesmo. Neste ponto de vista mais direccionado para os custos, uma maior qualidade irá “custar menos” a qualquer empresa.

É necessário que as organizações possuam um bom balanceamento destes dois pontos de vista anteriores, destes dois pontos de vista, de forma a produzir produtos e/ou serviços de qualidade.

É também possível encarar a qualidade sob outras duas perspetivas, isto é (Castro, n.d.):

1. Sob a perspetiva do consumidor, onde desde logo assume um carácter subjetivo ao nível da perceção física, sensorial e temporal (durabilidade);
2. Sob a perspetiva do produtor, onde aqui a qualidade do produto insere-se e dois parâmetros: qualidade do projeto, isto é, características que se querem colocar ao produto e qualidade da configuração, que corresponde à aproximação feita às características finais do produto comparativamente às especificações anteriormente definidas.

Taguchi, define qualidade como “a perda causada à sociedade pelo produto, desde o momento em que este é expedido para o cliente”. Esta perda pode ser medida em termos monetários e inclui todos os custos que se tenha acima do custo do produto (Kualitas, 2015).

Neste sentido, Taguchi sugeriu uma abordagem inovadora ao nível da aceitação e rejeição de um produto, que até 1960 dependia da inclusão do parâmetro verificado no intervalo de especificação previamente estabelecido, isto é (Castro, n.d.):

- *LIE* – limite inferior de especificação;
- *LSE* – limite superior de especificação;

Sugeriu que em vez de se produzir para um intervalo de valores específico, que se passasse a produzir para um valor alvo (Figura 2.1-1). reduzindo assim a variabilidade do produto.

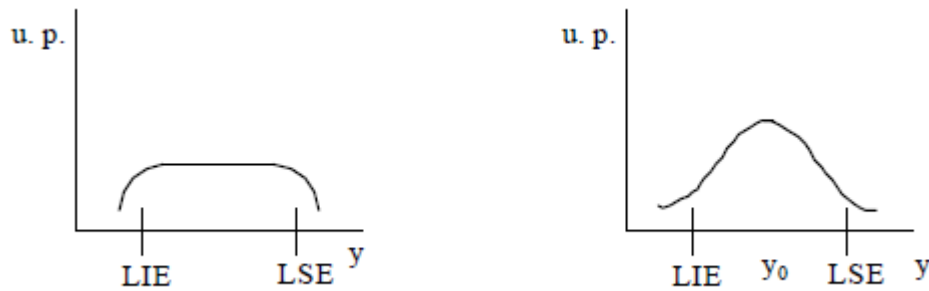


Figura 2.1-1 Método comparativo entre Método convencional de aceitação de um produto (à esquerda) e Método de Taguchi (à direita)

Onde:

- $u.p$ – Unidades produzidas;
- y – Valores da característica em medição;
- y_0 – valor alvo;
- LIE – Limite inferior de especificação;
- LSE – Limite superior de especificação.

A vantagem é que este método permite assim reduzir a variabilidade do produto, que como se observa no presente caso prático a ser estudado no presente projeto, é a maior “inimiga” da qualidade.

2.2. Princípios de Gestão da Qualidade

Para se liderar e operar uma organização com foco na qualidade, existem alguns princípios fundamentais que a mesma deve procurar seguir. São sete os princípios fundamentais e juntos procuram garantir uma eficaz gestão da qualidade de acordo com a ISO 9001:2015 de sistemas de gestão da qualidade:

1. Foco no cliente – as organizações devem focar-se em perceber quais os requisitos e necessidades dos seus clientes, para com isto antecipar e exceder as suas expectativas;
2. Liderança – de forma a atingir os seus objetivos, qualquer organização necessita de líderes fortes que a conduzam numa boa direção. Direção esta que envolva todos os funcionários da empresa para que todos possuam a mesma visão daquilo que são os objetivos propostos para a empresa e que caminhem num princípio de desenvolvimento interno mais aberto hierarquicamente;
3. Comprometimento das pessoas – as pessoas são parte fundamental de qualquer organização. Os líderes devem garantir que todos os funcionários possam participar e dar uso às suas capacidades para, como um todo, tornarem a organização bem-sucedida;
4. Gestão por processos – as organizações devem gerir todas as suas atividades como processos;

5. Melhoria contínua– a chave para o sucesso a longo-prazo de uma organização passa pela aposta na melhoria contínua. Isto é, os processos devem ser revistos e melhorados continuamente de forma a manter a empresa sempre competitiva. As melhorias podem incluir correção, ação corretiva, e mudança resultante de reorganização e/ou inovação;
6. Tomada de decisão baseada em evidências – compete às organizações tomar decisões relativas aos seus processos internos, baseadas em factos que correspondam à sua realidade;
7. Gestão das relações – as organizações devem procurar manter uma relação de proximidade para com os seus fornecedores, para assegurar que ambos seguem a mesma direção que lhes permita atingir os objetivos de ambas.

De notar que cada vez mais as organizações pretendem integrar a sua gestão da qualidade interna com a sua cadeia de fornecedores (*supply chain*). Esta pensamento pode ser definido como uma cooperação estratégica entre a organização de uma empresa e a sua cadeia de fornecedores para formar relações e/ou políticas ao nível da qualidade, ao nível da comunicação e ao nível dos seus processos, com o objetivo de aumentar os níveis de qualidade operacionais e reduzir custos (Zhang et al., 2019).

Por consequência, a origem da certificação ISO 9001, ocorreu quando o BSI (*British Standard Institute*) publicou pela primeira vez em 1971 a norma BS 4891. Foi desenvolvida para a garantia da qualidade na indústria eletrónica. Um dos benefícios acrescidos da criação desta norma, foi fazer com que as indústrias no geral tivessem os mesmos requisitos de gestão da qualidade dentro do seu seio, de modo a definir um padrão geral entre empresas (Karthi et al., 2012).

Os campos de aplicação da mesma são vastos, desde logo (Karthi et al., 2012):

- Construção Civil;
- Educação;
- Comércio online;
- Eletrónica;
- Indústria Alimentar;
- Saúde;
- Manutenção;
- Produção;
- Pesquisa e desenvolvimento;
- Outros serviços.

Embora a norma ISO 9001 tenha um enorme campo de aplicabilidade, na indústria aeronáutica surgiu a necessidade de ser criada uma norma que permita evidenciar um sistema de gestão da qualidade focado na indústria aeronáutica e aeroespacial, a AS9100.

A AS 9100 foi lançada em outubro de 1999 pela *Society of Automotive Engineers and the European Association of Aerospace Industries*. Embora tenha sido tomada como base a norma ISO 9001 de sistemas gestão da qualidade para organizações de pequena e grande dimensão, para a elaboração desta norma, o intuito da mesma passa por padronizar e especificar os requisitos de qualidade para estas indústrias em particular, com a adição de 3 anexos de normas e requerimentos aplicáveis para a indústria aeroespacial, por exemplo na necessidade de elaboração de um *FAI (First Article Inspection)*, documento obrigatório quando se produz um produto pela primeira vez ou quando se altera algo a um produto já existente.

A norma EN 9100:2018, tem presente a importância e a necessidade de qualquer organização garantir que os seus produtos considerados não conformes, são identificados e controlados, de forma a bloquear a sua utilização ou entrega. A organização deve tomar as ações apropriadas de forma a combater a causa do defeito. Estas ações devem constar num plano de controlo que deve assegurar:

- Definição da responsabilidade e autoria dos produtos não conformes e a disposição dada para os mesmos, isto é, sucata ou retrabalho, para auxiliar na tomada de decisão de pessoas certificadas para o efeito;
- Descrição das ações tomadas para conter o efeito da não conformidade detetada em outros processos, produtos ou serviços;
- Tempo de resposta para com outros fornecedores ou partes interessadas de produtos não conformes já entregues;
- Definição das ações de correção tomadas para com produtos e/ou serviços não conformes detetados após a entrega, assim como os seus impactos.

É conveniente que esta gestão e monitorização de produto não conforme seja realizada a fim de se evitar danos maiores dentro da organização e no próprio cliente.

2.3. Custos da Qualidade

Construir uma base sólida de garantia da qualidade numa organização não é tarefa fácil, isto porque qualidade também é um custo, mais propriamente um custo da prevenção.

O tema dos custos da qualidade começa a ser abordado decorria o ano de 1930 por grandes nomes como Deming, Taguchi ou Juran, este último formulou mesmo o conceito de custos de qualidade como sendo o custo da má qualidade (Juran, 1998), assim como seu impacto nos lucros da empresa. Promoveu ainda o uso de técnicas de qualidade capazes de reduzir custos operacionais e aumentar a qualidade do produto.

A má qualidade que o autor refere pode ocorrer de diversas formas, nomeadamente:

- *Scrap* – desperdício de matéria-prima ou de produto acabado durante o processo produtivo;
- *Rework* – retrabalho efetuado sobre um elemento, decorrente de um defeito detetado;

- *Re-inspection / re-testing* – após qualquer *rework* (definido no ponto anterior), é exigida uma nova avaliação/inspeção para verificar a conformidade do elemento;
- *Material Review* – revisões que possam ocorrer ao produto, desde matéria-prima até à configuração do mesmo.

O custo da qualidade passa por conhecer de que maneira está a custar à organização a não garantia da mesma, por exemplo através de algum dos pontos definidos anteriormente, de forma a serem traçadas causas e efeitos, definidas as respetivas ações de erradicação e prevenção dos mesmos para que no fim sejam monitorizadas estas ações (Plunkett, 1999).

Surge pela necessidade que uma organização detém de prevenir que defeitos ou imperfeições ocorram durante o seu processo produtivo ou até mesmo no cliente final e para isso, os seus sistemas de qualidade deve conter: formação para quem irá garantir/controlar a qualidade dos produtos; suportada por uma Engenharia de processo capacitada e conhecedora do processo/produto e um planeamento da qualidade ao longo do processo (Murumkar et al., 2018).

A publicação (Murumkar et al., 2018), apresentou um estudo feito entre 2012 e 2017 na Indústria Automóvel na Índia, em que mostra em termos quantitativos o número de “*recalls*” (termo dado quando a marca responsável por um produto pede aos seus clientes que devolvam o mesmo por se ter identificado algum defeito no mesmo).

Na Figura 2.3-1 é possível observar a quantidade de “*recalls*” que várias empresas do setor automóvel tiveram necessidade de efetuar por erros descobertos à posteriori nos seus produtos:

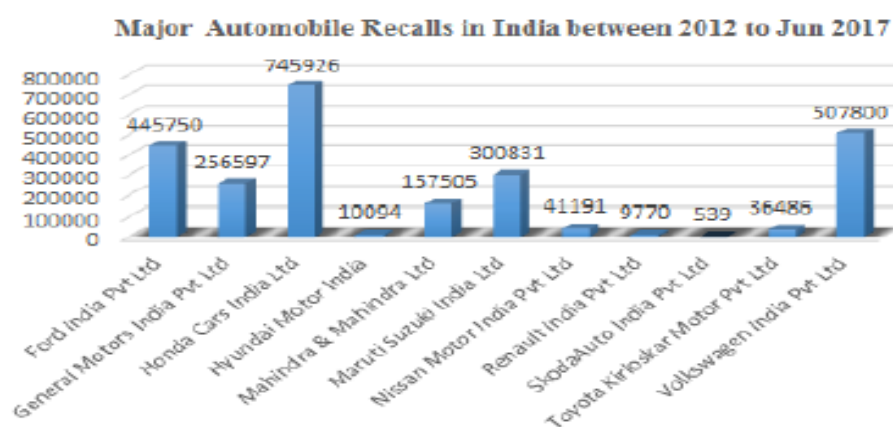


Figura 2.3-1 Quantidade de “*Recalls*” na indústria automóvel

Com o desenvolvimento das novas tecnologias e a rapidez de evolução da automação e robótica, os custos inerentes a inspeções e testes durante os processos decresceram bastante nas últimas décadas. Na atualidade competitiva da indústria, a qualidade é reconhecida como um fator crítico nas organizações, na medida em que de que maneira é possível medir e transpor os custos que esta acarreta.

(Simga-Mugan & Erel, 2000), referem que os custos da qualidade estão tipicamente agrupados em quatro grupos:

- Custos com falhas internas – diretamente ligados aos custos com a sucata interna e retrabalhos, decorrentes de não conformidades detetadas durante o processo;
- Custos com falhas externas – reclamações recebidas pelos clientes ou com garantias dos produtos;
- Custos de Inspeção – têm como objetivo identificar não conformidades internas ou defeitos, de modo a garantir um grau de conformidade elevado dos produtos;
- Custos Preventivos – todas as ações que têm como objetivo mitigar as não conformidades internas, sejam elas análises, estudos e medidas preventivas.

Aqui não estão incluídos todo o tipo de custos, pois existem custos intangíveis dentro das organizações que apesar de tudo contam para os custos da qualidade, como os custos de perda de negócios, custos para com os clientes e ainda os relativos a atrasos no processo. Esta relação pode ser analisada através do seguinte esquema da Figura 2.3-2:

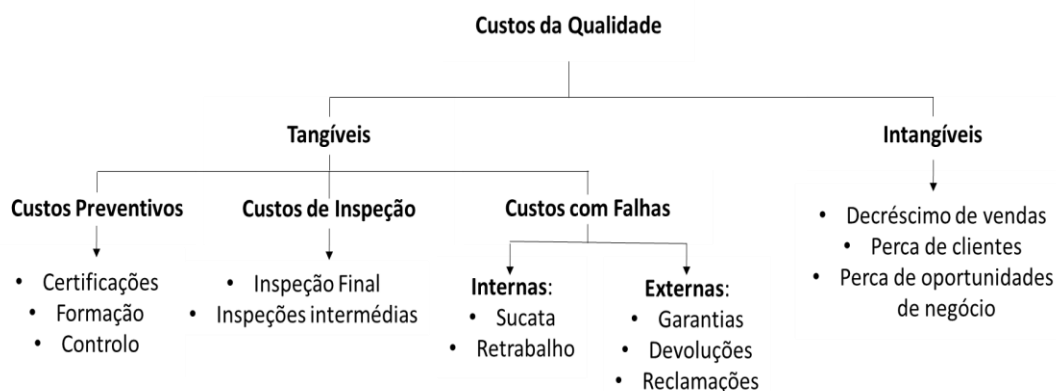


Figura 2.3-2 Esquema dos Custos da Qualidade

Os custos com falhas externas (Garantias, Devoluções e Reclamações), além do impacto financeiro como aquele apresentado no caso de estudo deste projeto, têm também impacto ao nível da satisfação e credibilidade juntos dos clientes, pois além de se ter deixado escapar um problema interno para fora, transmite uma imagem pouco positiva da organização.

Uma reclamação é uma demonstração de insatisfação apresentada a uma organização, seja para com os seus produtos, como para a sua própria gestão de reclamações, há as quais são esperadas rápidas respostas (Technical Committee ISO/TC 176, Quality Management and quality assurance, Subcommittee SC 3, 2018).

Dentro de qualquer organização, com sistemas de gestão da qualidade implementados, no geral existem procedimentos a garantir aquando da receção de uma reclamação, nomeadamente o seu registo e difusão interna, assim como alguma informação de suporte, tais como:

- Descrição da reclamação;
- Ação solicitada pelo reclamante;
- Produtos ou serviços internos relacionados com o objeto da reclamação;
- Data de resposta;
- Informação relacionada com as pessoas, departamentos, organização;
- Ações imediatas a desencadear.

Internamente deve ocorrer uma investigação rápida para o tratamento da mesma, fazendo o seguimento de todas as ações que dela surgiram. Este procedimento pode ser visto resumidamente no seguimento fluxograma da Figura 2.3-3, apresentado na norma ISO 10002:2018 de Gestão das Reclamações:

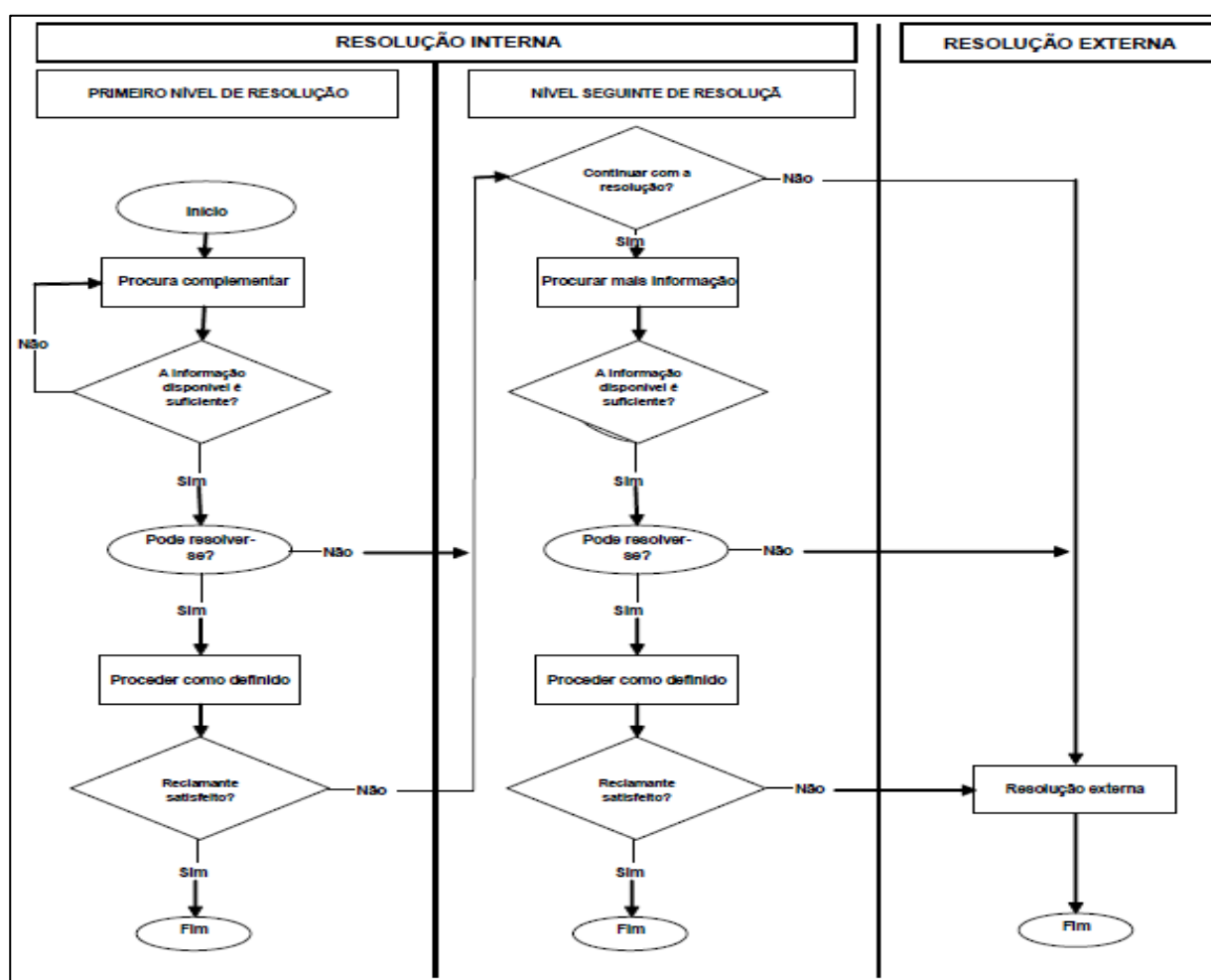


Figura 2.3-3 Fluxograma de resolução de reclamações

Os autores Simga-Mugan & Erel (2000)., apresentam o seu caso de estudo realizado na “*Turkish Aerospace Industries*” (TAI), empresa ligada ao ramo aeronáutico, com o objetivo de produzir aviões civis e militares e prestar serviços de manutenção pós-venda aos seus produtos.

A empresa TAI tem implementado um Sistema de Gestão da Qualidade, que faz com que quando qualquer trabalho está fora de especificação, é elaborado e submetido um relatório ao gabinete da qualidade. São tomadas ações corretivas de imediato, enquanto a causa e o responsável são identificadas. O gabinete de qualidade recolhe este tipo de relatórios para mensalmente e anualmente elaborar análises e definir atividades no âmbito da qualidade dentro da organização, onde também é mostrado o custo total da qualidade. A TAI não tem em conta custos com falhas externas pois, como referem os autores (Simga-Mugan & Erel, 2000) antes da venda de qualquer avião e feita uma demonstração ao cliente onde são testados todos os elementos de voo e é feita uma vistoria ao mesmo.

Na Tabela 2.3-1, é apresentada a distribuição dos custos da qualidade dentro da TAI durante o período de 1990-1997, contando com cinco projetos diferentes, referenciados de A a E, que incluem projetos de produção de peças simples e conjuntos até a produção e instalação de partes elétricas:

Tabela 2.3-1 Distribuição dos custos da qualidade dos diferentes projetos, como percentagem dos custos totais da qualidade

	<i>Projeto/Ano</i>	<i>A (%)</i>	<i>B (%)</i>	<i>C (%)</i>	<i>D (%)</i>	<i>E (%)</i>	<i>Total (%)</i>
<i>Deteção</i>	1º Ano	0,07					
	2º Ano	0,11					
	3º Ano	0,11					
	4º Ano	0,09					
	5º Ano	0,04	0,17	0,38	0,22		
	6º Ano		0,18	0,1	0,08	0,35	
	7º Ano		0,23		0,17	0,24	
<i>Deteção Total</i>		0,42	0,58	0,47	0,47	0,59	51
<i>Prevenção</i>	1º Ano	0,06					
	2º Ano	0,08					
	3º Ano	0,09					
	4º Ano	0,08					
	5º Ano	0,03	0,04	0,14	0,19		
	6º Ano	0,01	0,05	0,14	0,14	0,12	
	7º Ano		0,05		0,03	0,06	
<i>Prevenção Total</i>		0,36	0,14	0,28	0,36	0,18	26
<i>Correção</i>	1º Ano	0,01					
	2º Ano	0,06					
	3º Ano	0,05					
	4º Ano	0,06					
	5º Ano	0,03	0,08	0,15	0,08		
	6º Ano	0,01	0,11	0,1	0,06	0,12	
	7º Ano		0,11		0,03	0,12	
<i>Correção Total</i>		0,21	0,29	0,25	0,17	0,24	23

É possível observar que a maior percentagem gasta com a qualidade é com os custos da deteção com 51%, ficando os custos de prevenção e correção com 26% e 23% respetivamente. Estes valores correspondem à proporção de cada variável (deteção, prevenção e correção) em relação à percentagem total dos custos totais da qualidade despendidos pela empresa durante os 7 anos. Nestes poderão estar incluídos, respetivamente:

- Custos com a deteção de não conformidades, inspeções intermédias e testes de laboratório (NDT);
- Custos com certificações, formações, auditorias a fornecedores e análises de Engenharia;
- Custos com falhas internas, isto é, não conformidades que gerem retrabalho ou sucata.

Estes resultados mostram que se deve continuar a investir nos custos de prevenção de forma a poder diminuir os da deteção que além de custos em si, podem trazer outros tipos de custos agregados como os atrasos no processo.

Na conclusão do artigo, Simga-Mugan & Erel (2000) referem a importância de colocar maior atenção na certificação de sistemas de qualidade, pois estes devem ser incluídos nos custos de prevenção ou qualquer organização poderá ter uma subavaliação daquilo que realmente são os seus custos de qualidade.

2.4. Controlo da Qualidade

Na indústria aeronáutica garantir a qualidade do produto é sinónimo de competitividade no mercado e elevada satisfação do cliente. Nesse sentido, todas as fases de produção de um produto ou manutenção de uma aeronave têm de ser inspecionadas de modo a verificar a sua conformidade. Esta inspeção pode ser realizada pelo humano, sendo ela uma medição ou inspeção visual, ou por máquinas capacitadas para essa função.

A inspeção realizada numa aeronave no ativo requer uma rápida avaliação da estrutura e componentes do avião sem que seja preciso remover partes do mesmo. Os manuais de inspeção são bastante intensos e a sua leitura ocupa muito tempo e requer bastante atenção da parte dos inspetores e como tal está sujeita ao erro humano. A qualidade da interpretação do mesmo depende da experiência dos inspetores e da sua competência e personalidade pois uma inspeção é bastante intensa e exaustiva o que leva ao decréscimo da atenção do inspetor ao longo da inspeção.

As técnicas de ensaios não destrutivos são distinguidas por oferecerem informação detalhada acerca de uma determinada localização num único teste, tais como:

- Inspeção visual;
- Inspeção dimensional;
- Inspeção tridimensional;
- Radiografia;
- Ensaio por partículas magnéticas;

- Líquidos penetrantes;
- Correntes induzidas;
- Ultra-sons.

Bar-cohen & Backes (2000), mostram no seu artigo o potencial do desenvolvimento de uma ferramenta denominada MACS (*"Multifunction Automated Crawling System"*), que oferece a capacidade de realizar diferentes tipos de inspeção por métodos não destrutivos num único rastreio que percorre toda a superfície de um avião (Figura 2.4-1), sendo este controlado remotamente. MACS é um robô capaz de integrar vários sensores que efetuam uma inspeção precisa à estrutura de um avião, há procura de defeitos como corrosão, fraturas ou porosidades. O mesmo pode ser controlado remotamente por internet ou localmente.

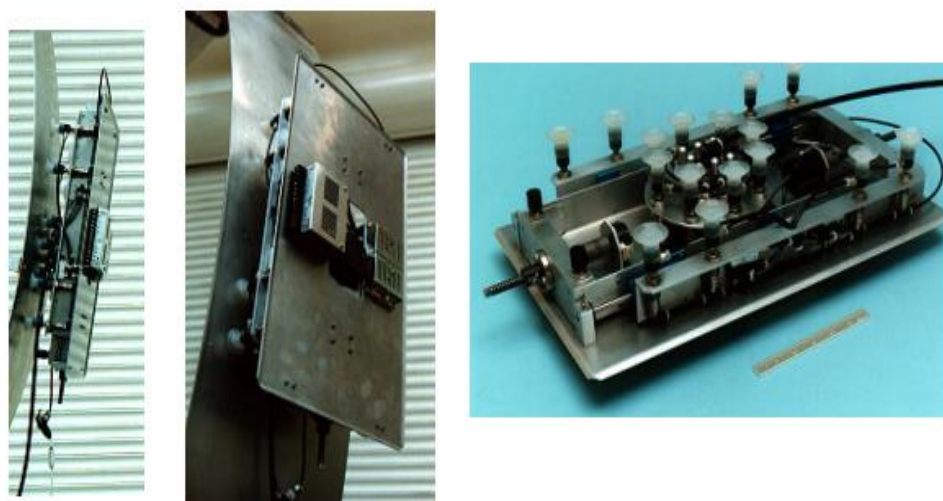


Figura 2.4-1 Fotografia do MACS sobre diferentes ângulos

Apesar de não serem demonstrados, no artigo referido, neste artigo os resultados destas inspeções que levaram às conclusões dos autores, é possível observar que já no ano 2000 se esperava que as inspeções robotizadas e autónomas seriam uma mais valia para a indústria aeronáutica.

Todas as inspeções estão sujeitas ao erro humano pois a distração e complacência não é algo passível de ser eliminado como numa máquina. O que se consegue fazer no âmbito das inspeções, é tornar este processo rico em termos da informação do que é suposto realizar, mantendo ao mesmo tempo as pessoas motivadas, pois em aeronáutica qualquer erro pode levar à morte de centenas de pessoas.

McEvily (2004), mostra um exemplo disso mesmo, quando em 1977, um Boeing 707-321C da *Dan Air* despenhou-se perto da Zâmbia devido à separação em voo do braço direito do estabilizador horizontal do elevador da cauda do avião. Posteriormente chegou-se à conclusão de que tal aconteceu

devido a fratura por fadiga num furo de um rebite do estabilizador horizontal da longarina central (Figura 2.4-2), derivado a uma fissura nunca detetada nas fases de inspeção.

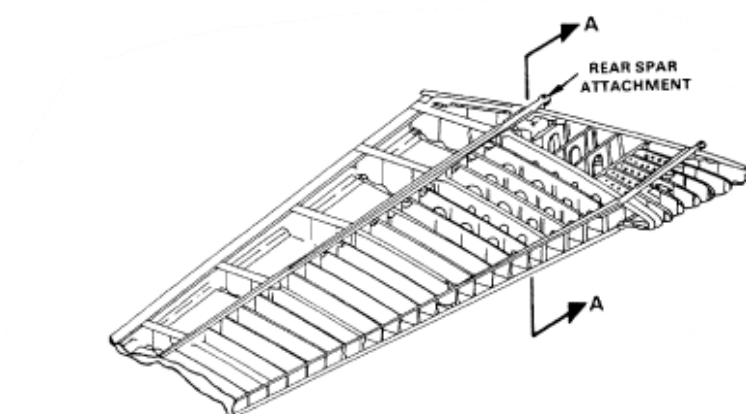


Figura 2.4-2 Estrutura do estabilizador horizontal do Boeing 707-300 série 1

No caso citado, no que diz respeito aos procedimentos de inspeção, apenas foi revista a parte superior da longarina traseira, 176 voos antes da queda, sendo que nesse momento e através dos estudos efetuados pós-queda da aeronave, revelaram que a fissura já se encontrava presente.

Conclui-se que os procedimentos de inspeção definidos pelo fabricante e os intervalos entre as mesmas não conseguiriam contemplar este tipo de defeito, pois a zona em particular requeria apenas inspeção visual.

Por outro lado, em 1989 uma aeronave da *United Airlines*, Douglas DC-10-10 (Figura 2.4-3), despenhou-se na América devido à falha por fratura do motor traseiro, nunca detetada durante as inspeções (McEvily, 2004).



Figura 2.4-3 Douglas DC-10-10 da United Airlines

Durante a análise ao acidente, foi revelado que a causa do acidente foi uma fratura por fadiga iniciada, mais uma vez, num furo do rotor da turbina do motor. A fratura começou por uma pequena cavidade 1.4mm x 1.4mm e 0.4mm de profundidade na superfície do furo, que se pensa ter sido criada durante a maquinação da própria peças simples, antes da formação do conjunto final (motor). A

propagação da fenda deu-se início na entrada ao serviço deste motor, 18 anos antes do acidente. Até à data, o conjunto passou por seis inspeções FPI (“*Fluorescent Penetrant Inspection*”) sem nunca se ter notado esta fratura. Durante a última inspeção final realizada, a fratura atingiu um tamanho já detetável de 13mm comprimento, tendo sido detetada na última FPI, mas não foi tida em conta (McEvily, 2004).

A NTSB (“*National Transportation Safety Board*”), determinou que a causa provável do acidente foi a desconsideração dada ao resultado da última inspeção por FPI, devido a limitações em termos de competências dos profissionais que a realizaram (fatores humanos) e aos próprios procedimentos de controlo de qualidade, que num elemento crítico deveriam ser mais robustos (McEvily, 2004).

Em suma, definir padrões de inspeção é importante e na maioria das vezes estão bem estabelecidos, no entanto em alguns casos existe um grau de redundância elevado, isto é, a informação pode consentir ser entendida de diversas formas, que poderá levar a erros como o anterior. O erro humano nunca deve ser subestimado.

2.5. Fatores Humanos

A influência dos fatores humanos na ocorrência de não conformidades é uma área também ela de bastante estudo e relevância em indústrias como a indústria aeronáutica, que são os fatores humanos. Os fatores humanos podem ser definidos como a disciplina científica que trata as interações entre o ser humano e o sistema onde está inserido, de forma a otimizar tanto a performance do ser humano como a do sistema (Neumann et al., 2016).

Em indústrias produtivas não muito automatizadas como é a indústria aeronáutica, qualquer processo manual está sujeito ao fator humano, isto é, à possibilidade de erro que este acarreta em cada ação que executa. Contudo, este pode começar logo a ter influência ainda na fase de projeto de um produto, pois as escolhas tomadas nesta fase irão ter consequências no processo final do produto, nomeadamente na parte mental e psicológica de quem executa (operador). A Figura 2.5-1 abaixo mostra os dois tipos de impacto dos fatores humanos na produção (Kolus et al., 2018):

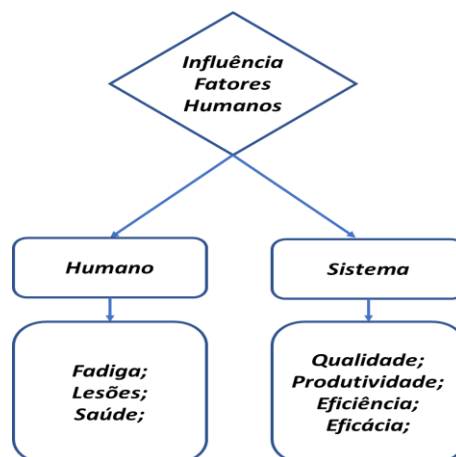


Figura 2.5-1 Influência dos Fatores Humanos

Nos QRF (*"Quality Risk Factors"*), estão presentes os fatores humanos como um todo, nomeadamente nos dois tipos representados acima. No que diz respeito ao ser humano, foram identificados dois tipos bastante influenciáveis: elevada carga de trabalho físico e/ou fadiga. Segundo (Kolus et al., 2018), a elevada carga de trabalho corresponde numa taxa de 70% à área que o operador ocupa, às características inerentes à sua função e às ferramentas utilizadas.

Em relação ao sistema, dois subtipos foram identificados: erro humano e/ou não qualidade. Nestes fatores que impactam a qualidade do produto, 37% correspondem ao design do projeto, 27% ao design do produto, 24% ao layout do processo e 12% ao ser humano como indivíduo. Mesmo tendo a menor percentagem, é importante compreender o operador e as suas necessidades a fim de poder melhorar a performance de qualquer processo. Concluiu-se que estes fatores como um todo, correspondem a 84% de não conformidades que ocorrem nas indústrias derivado a fatores humanos.

Exemplo disso foi o acidente aéreo que ocorreu em janeiro de 1989 em *Kegworth*, Inglaterra. Na altura, um Boeing 737-400 despenhou-se quando estava prestes a efetuar uma aterragem de emergência no aeroporto de *East Midlands Airport*, isto porque o motor esquerdo colapsou devido à fratura de uma turbina. Para esta situação contribuiu uma má interpretação de um dos membros da tripulação, que pela leitura que fez do painel de instrumentos indicou que o motor que estava com avaria, era na verdade o motor que estava sem avarias (C. Johnson, 1997).

Na altura do colapso, o piloto através da leitura feito ao painel de instrumentos, indicou ao copiloto que desligasse o motor direito, o correto, pois até à data, a versão anterior desta aeronave, continha as entradas dos fluxos de ar pelo lado direito da cabine. Já na versão 400 a entrada era feita pelos dois lados da cabine, tal induziu em erro o piloto, pois por coincidência ao desligar o motor direito a trepidação diminuiu, o fumo diminuiu e maioria dos erros no painel também, isto porque o caudal de combustível foi cortado para o motor correto e chegava em baixas quantidades ao motor esquerdo com o defeito, reduzindo assim a explosão e o fumo, fazendo-o acreditar na escolha que fez.

Os pilotos sobreviveram e durante a análise ao acidente, concluiu-se que para o desfecho daquele voo, contribuiu além da falha do motor, a má interpretação do piloto e seus companheiros, pois quando questionados sobre o motor afetado, formularam todos, embora sem terminar a palavra, "direito", o que revela, segundo os investigadores, uma dificuldade na leitura do painel de instrumentos nos instantes iniciais após a ocorrência da falha (C. Johnson, 1997).

2.6. Ferramentas da Qualidade

Para o caso de estudo deste projeto, é necessário identificar e analisar metodologias para análise e resolução de problemas.

Neste sentido, o *DMAIC* (*Define – Measure – Analyse – Improve – Control*) é visto como uma ferramenta de resolução de problemas, tipicamente como uma filosofia *PDCA*, mas esta em particular com o objetivo de traçar novas rotinas num processo, de modo a reduzir a sua variabilidade e melhorar a gestão da qualidade dentro de uma organização e de um processo (De Mast & Lokkerbol, 2012). O

tipo de não conformidade que irá ser abordada neste projeto recai muito nesta temática, pois a variabilidade do processo é elevada. Os autores anteriores referem que uma análise *DMAIC* segue o seguinte procedimento da Tabela 2.6-1:

Tabela 2.6-1 Procedimento *DMAIC*

Define: Identificação do problema e benefícios desta análise
D1: Identificar e mapear o processo; D2: Identificar dentro da organização equipa responsável por esta análise; D3: Identificar os requisitos do cliente; D4: Identificar ações necessárias para se iniciar com o projeto;
Measure: Tornar o problema mensurável e medir o desempenho atual.
M1: Selecionar um ou vários pontos críticos para a qualidade do produto/processo; M2: Identificar os requisitos para cada ponto crítico da qualidade; M3: Validar os sistemas de medição para cada ponto crítico identificado; M4: Avaliar a capacidade do processo atual; M5: Definir objetivos;
Analyse: Identificação das causas que determinaram os pontos críticos anteriores
A1: Identificar fatores potencialmente influenciáveis; A2: Selecionar os de maior risco;
Improve: Elaboração e implementação de melhorias no processo que aumentem a sua produtividade
I1: Quantificar as relações entre os pontos críticos definidos anteriormente e as suas causas; I2: Definir ações para modificar o processo e otimizar os pontos críticos; I3: Conduzir um teste piloto para promover as ações de melhoria definidas;
Control: Verificação dos resultados após implementadas as melhorias e efetuar ajustes às mesmas
A1: Avaliar a eficácia do processo pós-melhorias através de indicadores apropriados; A2: Implementar planos de controlo;

Neste sentido, pretende-se seguir a metodologia *DMAIC* durante a realização do projeto, de forma a que sejam atingidos os objetivos definidos.

São inúmeras as ferramentas de qualidade utilizadas como método de resolução de problemas nas indústrias em geral, como Histogramas, Diagramas de Pareto ou Diagrama de *Ishikawa*, desde já por serem eficazes tanto na gestão de problemas a curto como longo prazo e porque ajudam a analisar a grande maioria dos problemas de qualidade dentro da organização, sendo utilizadas para identificar e mitigar a variabilidade dos processos, de forma a promover melhorias ao processo e/ou ao produto.

Embora sejam parte importante para a melhoria de processos dentro de qualquer organização, nem sempre estas ferramentas são utilizadas e tidas em conta, muito pelo facto de não estarem incluídas nas variadas normas de qualidade, mas a sua utilização transmite um sinal de maturidade organizacional e de alinhamento com uma total gestão da qualidade (Tarí & Sabater, 2004).

É possível identificar sete das ferramentas de qualidade mais conhecidas e utilizadas como método de análise e identificação de problemas (Soković et al., 2009):

- Fluxograma;
- Diagrama de Pareto;
- *Checklist's*;
- Cartas de Controle;
- Histograma;
- Diagrama de *Ishikawa*;
- Gráficos de Dispersão.

Em relação aos campos de aplicabilidade, algumas podem ser utilizadas para efetuar a identificação do problema (recolha de dados) e outras para analisar o próprio problema (tratamento de dados) como mostra a Figura 2.6-1 (Soković et al., 2009):

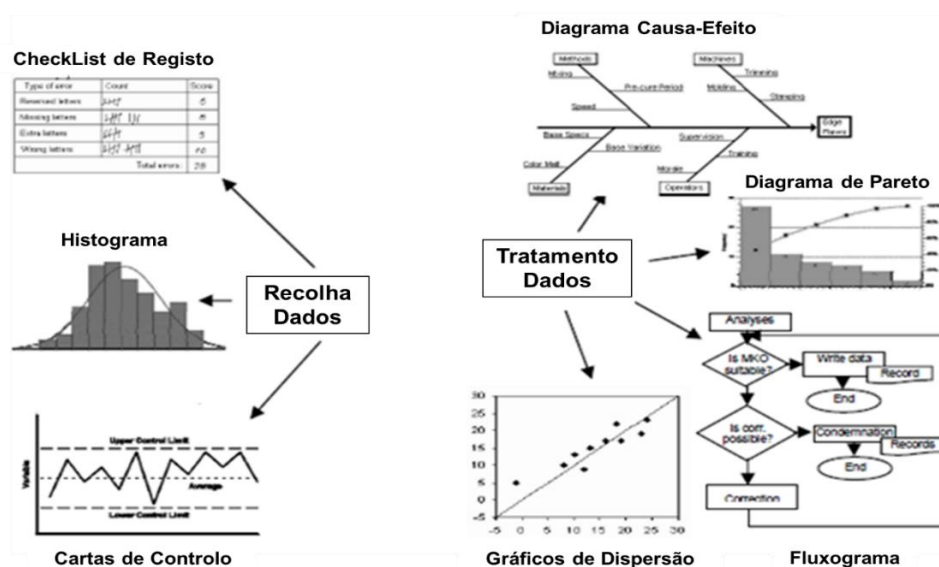


Figura 2.6-1 Campos de aplicação das ferramentas de qualidade

Tendo em consideração o presente projeto e o problema em análise, estas ferramentas foram escolhidas tendo como base a necessidade de estudar o processo que origina o tipo de não conformidade identificado. Têm ainda potencial de ser utilizadas em várias etapas da resolução do problema, pelo que o seu estudo em detalhe permite conhecer o potencial de cada uma, assim como a sua aplicabilidade.

Para tal, iram ser apresentadas algumas dessas ferramentas, seguindo a metodologia apresentada por David Straker (Straker, 1995).

A metodologia é composta por quatro tópicos de análise, nomeadamente:

- Para que serve a ferramenta;

- Quando deve ser utilizada;
- Como entendê-la;
- Como colocar em prática.

2.6.1. Folhas de Verificação

Para melhorar o que quer que seja num processo produtivo, ou num determinado serviço, há que medir, isto é, recolher algum tipo de dado que nos permita começar uma análise, por exemplo o número de vezes que uma máquina interrompe o seu funcionamento durante o horário de trabalho.

Esta recolha de dados pode tornar-se numa atividade desorganizada e desgastante se não for realizada de forma correta, para isso são utilizadas tabelas/quadros para registar número de ocorrências de um determinado evento (Andersen, 2006).

Para que serve: para recolher dados manualmente, de forma organizada e credível.

Quando deve ser utilizada:

- Quando os dados são para ser recolhidos manualmente, de forma a garantir que a mesma é recolhida de forma correta e que mais tarde possa facilmente ser tratada;
- Quando os dados a recolher envolvem contagens, classificações e verificações;
- Quando for útil verificar cada registo à medida que é realizado, como por exemplo se está dentro ou fora de tolerância;
- Quando for útil ver como se encontra a distribuição dos registos efetuados.

Como entendê-la: se a informação for recolhida de forma desorganizada, esta tem tendência a perder-se e a ser difícil de analisar, sendo que a maioria das falhas acontecem na recolha de informação, e ainda na transcrição compreensão da mesma. As folhas de verificação, são simplesmente folhas de papel organizadas com o objetivo de simplificar e padronizar a recolha de dados, normalmente pelo uso de “checks” ou “marks”. Em seguida, é possível observar à esquerda (Tabela 2.6-2) uma recolha de dados desorganizada e à direita (Tabela 2.6-3) uma forma simplificada e estandardizada de recolher os mesmos dados.

Tabela 2.6-2 Lista de Defeitos Desorganizada

<i>Lista de Defeitos Desorganizada</i>		
<i>Flushness</i>	Riscos	Riscos
Marcas e Danos	Folgas	<i>Flushness</i>
Riscos	Peças em contacto	Riscos
Marcas e Danos	Riscos	<i>Flushness</i>
Pintura em Falta	Pintura em Falta	Peças em contacto

Tabela 2.6-3 Lista de Defeitos Organizada

Lista de Defeitos Organizada		
Tipo Defeito	Verificação	Ocorrências
<i>Flushness</i>	///	3
Marcas e Danos	//	2
Riscos	///	3
Peças em contacto	//	2
Pintura em Falta	//	2
Folgas	/	1
Total		13

Podem ser utilizadas de três formas principalmente, nomeadamente:

- Para efetuar contagens de itens, por exemplo tipos de defeitos, como o exemplo apresentado nas Tabelas 2.6-2 e 2.6-3;
- Para identificar localmente determinado defeito num elemento, por exemplo num produto de uma linha produtiva, ajudando a criar uma melhor distribuição dos defeitos ajudando na resolução problemas;
- Para despoletar uma ação e, consequentemente, certificar através dos registos se essa mesma ação foi realizada.

Como colocar em prática:

De forma objetiva, para se criar uma folha de verificação devem ser seguidos os seguintes passos:

1. Identificar os objetivos das medições, como que perguntas devem ser feitas e que decisões devem ser tomadas, assim como que informação é necessária recolher;
2. Identificar que informação necessita de ser recolhida à cerca do processo. Isto inclui todas as variáveis que podem contribuir para a causa dos problemas, como datas, horas, operadores, número de lotes, referência da máquina, etc.;
3. Identificar o período em que ocorre a recolha de dados e consequentemente o número máximo de medições por folha de verificação;
4. Projetar um modelo de folha de verificação, que tipicamente deve incluir:
 - Uma área para os dados acerca do processo;
 - Uma área para recolher os dados de forma a serem facilmente interpretados. Deve ser larga o suficiente para conter o número máximo esperado de dados;
 - Colunas e linhas para registar os dados, de forma serem facilmente transcritos para um computador;
 - Outras informações, tais como operadores, datas, máquinas, clima, etc..

5. Garantir a correta utilização da folha de verificação, testando-a preferencialmente em situação real;
6. Garantir que quem a irá utilizar está capaz de o fazer e conhece o procedimento. Para isso é necessário promover ações de formação.
7. Recolher a informação requerida, garantindo que a mesma é rapidamente interpretável.
8. Interpretar os resultados obtidos e usá-los como planeado.

2.6.2. Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de *Ishikawa*, também conhecido por diagrama causa e efeito, diagrama espinha de peixe devido à sua forma ou até diagrama dos 6M (seis atributos), tendo ficado popular na década de 1960, tendo este nome origem no seu criador, *Kaoru Ishikawa*, que foi pioneiro na gestão da qualidade de processos da Kawasaki (Liliana, 2016). Consiste na representação gráfica das possíveis causas que conduzem a um determinado defeito, permitindo tomar ações concretas em casa causa identificada.

Para que serve: para identificar/enumerar e estruturar as possíveis causas de um determinado efeito.

Quando deve ser utilizada:

- Quando se investiga um problema e se pretende identificar e selecionar possíveis causas para que o originam;
- Quando se conhece o efeito de um determinado problema, mas a sua origem não é não clara;
- Quando se trabalha com uma equipa multidisciplinar, com o objetivo de encontrar um comum entendimento e relacionamento entre as possíveis causas de um determinado problema;
- Quando se pretende encontrar potenciais riscos ou outros tipos de causas num determinado processo.

Como entendê-la: Soluções para os problemas nem sempre são fáceis de encontrar e por vezes as que parecem óbvias, podem ser apenas abordar sintomas e não o problema real. Identificar as causas como um passo intermédio faz com que seja mais fácil encontrar a raiz do problema.

Neste sentido, maioritariamente esta ferramenta utilizada seis atributos para analisar as causas ou fatores, nomeadamente (Liliana, 2016):

- Mão de Obra – Todas as pessoas envolvidas no processo;
- Método – Como é realizado o processo e quais os requisitos a cumprir, como normas, políticas, procedimentos e regulamentações;
- Máquinas – Qualquer equipamento, computador, ferramentas requeridas para efetuar o processo;
- Matéria-Prima – Qualquer elemento de matéria-prima, papéis, canetas, etc. usados para produzir o produto final;

- Medição – Informação gerada pelo processo que é usada para avaliar a qualidade do mesmo;
- Meio ambiente – As condições tais como localização, tempo, temperatura em que o processo ocorre.

Na Figura 2.6-2, observa-se que o diagrama de *Ishikawa* segue um layout muito próprio em formato de espinha de peixe, onde na cabeça do peixe se encontra descrito o problema em análise e na espinha são colocados os seis atributos (6M) referidos anteriormente, e em cada um é colocada uma causa e, em alguns casos, esta pode ser decomposta por subcausa.

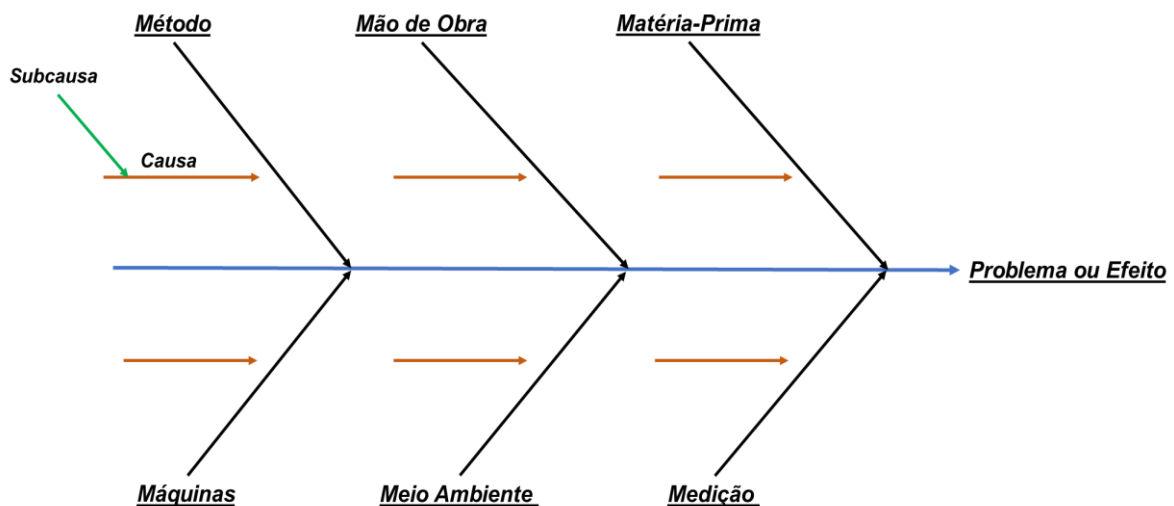


Figura 2.6-2 Diagrama de Ishikawa

Como colocar em prática: Deve ser formada uma pequena equipa multidisciplinar para trabalhar o problema, idealmente devido ao conhecimento e competências que cada um pode oferecer à análise do problema.

Esta técnica utiliza um pensamento baseado em todas as causas possíveis para o problema, pois isto ajuda a dar uma maior importância a todas as vertentes diretamente ligadas à situação em causa. Existem quatro passos a seguir para utilizar esta ferramenta, nomeadamente (Liliana, 2016):

1. Identificar o problema;
2. Trabalhar nos diversos fatores associados ao problema;
3. Identificar as possíveis causas;
4. Construir o diagrama e analisar o mesmo.

Para ajudar a identificar mais possíveis causas possíveis, existem alguns caminhos normalmente utilizados por quem utiliza esta ferramenta, nomeadamente:

- Continuar a perguntar “porquê”, normalmente para cada causa pergunta-se cinco vezes “porquê”;
- Visualizar o diagrama sem falar, apenas à procura de intervenientes para cada causa;

- Efetuar paragens durante a identificação das causas, descansando a mente;
- Envolver na análise as pessoas ligadas diretamente à área do problema;
- Deixar o diagrama numa parede para permitir a incubação das ideias e até mesmo para encorajar quem passe pelo mesmo a refletir sobre o mesmo.

Por fim devem ser planeadas e implementadas ações para cada causa identificada, de forma a mitigá-la.

2.6.3. Diagrama de Pareto

A análise de Pareto, representada pelo denominado Diagrama de Pareto, é uma técnica estatística de tomada de decisão, bastante fácil de utilizar e muito usada atualmente para selecionar vários parâmetros influenciadores de um determinado processo e/ou serviço (Karuppusami & Gandhinathan, 2006). É uma técnica de metodologia simples, com o objetivo de determinar qual é o parâmetro que mais tem impacto na empresa.

Para que serve: Para mostrar a importância relativa de cada fator em análise.

Quando deve ser utilizada:

- Quando se pretende selecionar os fatores mais importantes, permitindo focar todos os esforços sobre os mesmos;
- Após a implementação de melhorias, para se verificar mudanças que possam ter ocorrido após as mesmas;
- Quando é pretendido controlar fatores e/ou causas, tais como tipos de defeito detetados na inspeção de um determinado produto, de forma a compreender o peso de cada um;
- Em substituição do convencional gráfico de barras, para mostrar os fatores prioritários de uma série de medições.

Como entendê-la: O Diagrama de Pareto permite analisar um conjunto de problemas, geralmente ocorridos durante o mesmo período, de forma a mostrar o peso relativo de cada um para um determinado efeito, sendo que isto permitirá definir a prioridade em termos de ações a tomar.

O Diagrama de Pareto é simplesmente um gráfico de barras (Figura 2.6-3), alimentado por dados como os apresentados no exemplo da Tabela 2.6-4, onde as mesmas são ordenadas por frequência (número de ocorrências), e os valores mais elevados são ordenadas da esquerda para a direita, permitindo desde logo destacar os mais frequentes dos menos.

Tabela 2.6-4 Resultados da Inspeção Final de um Produto

Resultados da Inspeção Final de um Produto				
Tipo de Defeito	Frequência	Frequência acumulada	% Frequência	% Frequência acumulada
Parafuso Trocado	30	30	33%	33%
Marcas	19	49	21%	54%
Pintura Deficiente	15	64	16%	70%
Peças em contacto	8	72	9%	79%
Folgas entre peças	8	80	9%	88%
Peças trocadas	6	86	7%	95%
Riscos	5	91	5%	100%
Total	91		100%	

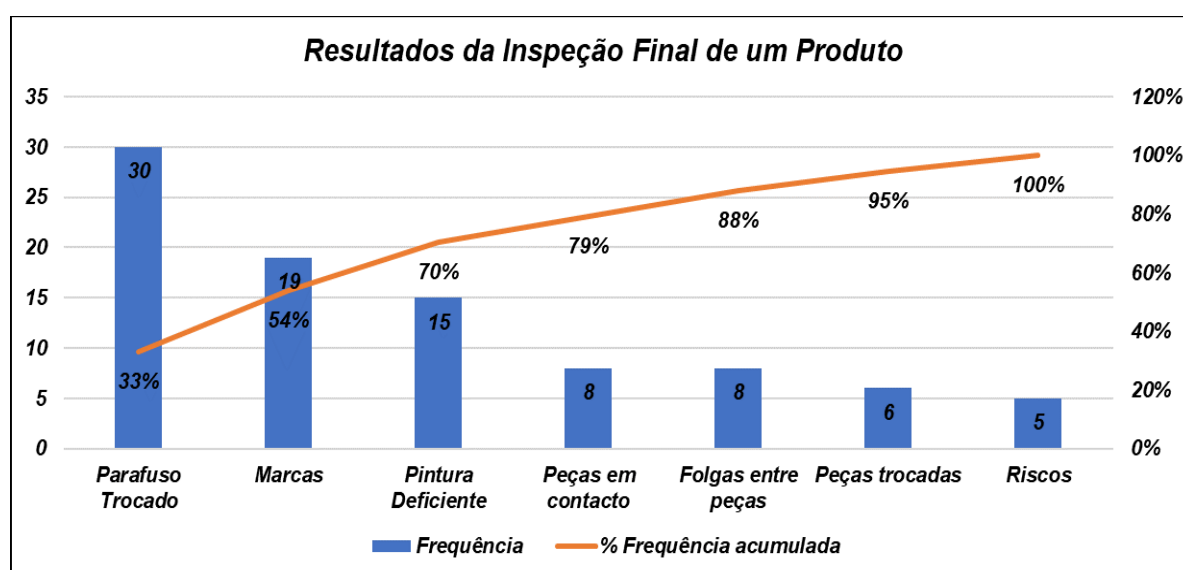


Figura 2.6-3 Resultados da Inspeção Final de um Produto

Como colocar em prática:

1. Determina-se o grupo de dados a analisar;
2. Identifica-se a periodicidade de recolha dos dados e a forma como os recolher para se começar a análise;
3. Após a recolha dos dados, constrói-se uma tabela de frequências e regista-se os dados;
4. Constrói-se o gráfico, onde no eixo horizontal se encontram as diferentes categorias do que se pretende analisar, enquanto que no eixo vertical se encontram o número de ocorrências de cada uma durante o período em que decorreu a análise;
5. Marca-se as frequências simples nas barras verticais e por fim traça-se uma linha de frequências acumuladas, com base no segundo eixo vertical.

O Digrama de Pareto acaba por ser uma ferramenta de fácil utilização e importante, na medida em que facilmente, como no presente caso prático a ser apresentado, permite mostrar a uma organização

onde tem de dedicar maior atenção se quer continuar a melhorar a qualidade dos seus produtos e/ou serviços.

2.6.4. Fluxograma

O fluxograma representa graficamente as etapas sequenciais de um determinado processo, caracterizando as interações entre as mesmas e o trabalho que será executado. As etapas são representadas através de figuras geométricas, como círculos, triângulos e seta, onde cada uma possui um significado (Neris et al., 2019).

Para que serve: Para mostrar a sequência de processos.


Quando deve ser utilizada:






- Quando se pretende analisar e definir um processo, detalhando as ações e decisões a tomar durante o mesmo;
- Quando se pretende olhar para potenciais focos de problemas durante um processo;
- Quando se pretende analisar a capacidade de um processo, identificando as melhores etapas para serem retirados dados;
- Para dar formação sobre um determinado processo, mostrando de forma resumida as diversas etapas do mesmo.

Como entendê-la: De forma a melhorar um processo, há que primeiro entender as suas diversas etapas e o seu fluxo, o que através de um fluxograma, torna mais fácil e clara a interpretação do mesmo. Um fluxograma não deve ocupar mais que uma página, isto para tornar a visualização do processo mais rápida e intuitiva. O mesmo é constituído por seções, nós e ligações entre os processos, e dividido em três seções: início, processo e fim.

Para a construção do fluxograma deverá utilizar-se simbologia apropriada, nomeadamente a representada na Tabela 2.6-5.

Tabela 2.6-5 Simbologia utilizada em Fluxogramas

Símbolo	Designação	Significado
	Terminal	Determina o início ou o fim do processo
	Ação	Representam atividades
	Espera	Tempos de espera entre as atividades do processo

	Decisão	Determina o caminho a seguir no fluxo, dependendo da resposta (Sim/Não)
	Subprocesso	Contém outro processo representado também ele em fluxograma
	Conector	Utilizado para conectar com outra figura idêntica em outra página de fluxograma
	Fluxo do Processo	Indica o sentido e a sequência das atividades do processo
	Documento	Ações que exigem entrada ou saída de documentos

Como colocar em prática:

1. Identificar o processo a ser representado através da ferramenta;
2. Definir e reunir a equipa a participar na descrição do processo através desta ferramenta, onde devem constar pessoas diretamente envolvidas no processo, de forma a representá-lo na sua realidade;
3. Concordar com a simbologia a utilizar o fluxograma, como a apresentada na Tabela 2.6-5, pois cada empresa pode possuir uma simbologia standard a utilizar nestas ferramentas e há que avaliar nesta fase;
4. Começar a desenhar o processo em forma de fluxograma através do símbolo do terminal, primeiro símbolo da Tabela 2.6-5;
5. Adicionar a primeira caixa após o terminal, representando a primeira ação do processo. Nesta fase é colocada a questão “o que acontecer a seguir?” e continua-se a representar o processo.

Deve-se ter em consideração nesta fase alguns pontos importantes, nomeadamente:

- Manter as descrições simples e curtas;
- Manter um nível constante de informação e detalhe ao longo da representação do processo;
- Tentar manter o fluxograma com uma página;
- Identificar e incluir as principais decisões no processo;
- Tentar que as representações das direções das linhas de fluxo “sim” ou “não”, provenientes das caixas de decisão, sejam consistentes, para facilitar a interpretação do fluxograma;
- O fluxo principal deve seguir do topo para baixo.

6. Se o fluxograma for para ser utilizado como fluxograma oficial, este deve ter um formato mais exclusivo e isto inclui:
 - Nome do processo e o modelo a que corresponde dentro dos documentos oficiais da organização em questão;
 - Nome da pessoa ou equipa que desenhou o fluxograma;
 - O responsável pelo processo e a sua função;
 - O índice de revisão do fluxograma;
 - A data da última revisão.
7. Utilizar o fluxograma para o fim a que se destinava, seja este na identificação de pontos de melhoria no processo ou de falhas no mesmo.

(Soković et al., 2009), mostram uma relação bastante interessante entre as ferramentas de gestão da qualidade e o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), como representado na Figura 2.6-4:

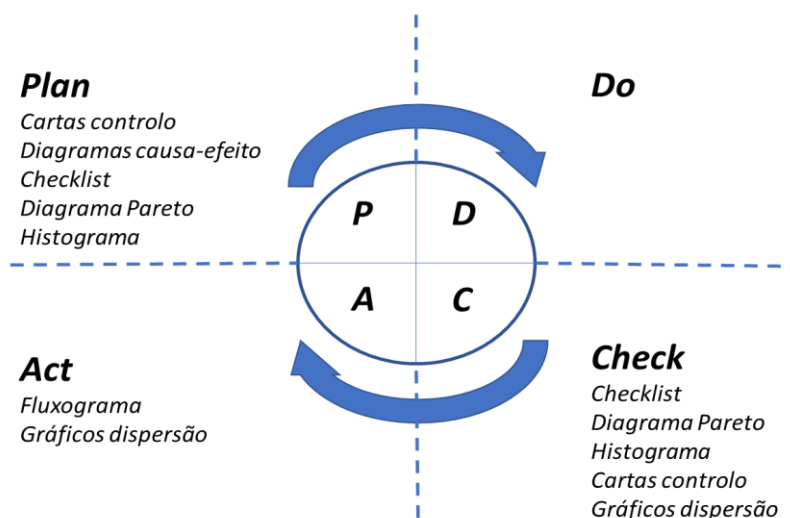


Figura 2.6-4 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA consiste em:

- Plan – Nesta fase são analisadas as necessidades de melhoria numa determinada área ou processo e consideradas certas mudanças;
- Do – Implementação das mudanças identificadas na fase anterior;
- Check – Controlar e medir as alterações efetuadas, garantido que os resultados obtidos correspondem aos definidos anteriormente;
- Act – Manter as alterações efetuadas sobre vigilância e atuar se necessário.

A existência e utilização destas ferramentas permite melhorar os resultados produtivos de qualquer organização, como o volume produtivo e qualidade do produto final.

Em nenhuma técnica ou processo pode ser descurado o fator humano, pois seja um processo automatizado ou não, se tiver contacto com um recurso humano, existe sempre um erro potencial associado, como tal devem ser inseridos em todas as análises de qualidade que se possa realizar sobre um produto ou processo.

Analisando a definição de qualidade de um produto, a mesma pode ser dividida em quatro componentes (Soković et al., 2009):

- Qualidade na conceção – determina que o design do produto tem de ir de encontro aos requisitos de qualidade do mesmo;
- Qualidade no fabrico – todo o sistema de fabrico do produto tem de estar em concordância com o design do produto (matéria-prima, planeamento de produção, etc.);
- Qualidade na entrega – inclui todo o processo até à entrega do produto ao cliente, garantindo qualidade na mesma (inspeção, embalagem, venda, distribuição, etc.);
- Qualidade na sua exploração – determina até que ponto o produto vai de acordo com os requisitos para que foi projetado para satisfazer em termos de qualidade o cliente durante toda a sua vida útil.

Para garantir que durante o fluxo produtivo de um produto o seu nível de qualidade seja sempre garantindo, há que haver uma forte componente de gestão dos recursos humanos que entram em contacto com o mesmo. Na indústria aeronáutica pela complexidade do produto em questão e da diferença de padronização comparativamente a uma indústria automóvel, grande parte dos processos são realizados pelo recurso humano, como tal, este é considerado o fator que mais acrescenta valor ao produto e/ou processo.

Para implementar e cimentar uma cultura de gestão da qualidade em qualquer organização é fundamental (Lazur et al., 2013):

- Envolver o maior número de colaboradores;
- Promover ações de formação;
- Identificar mais áreas para futuras melhorias;
- Desenvolver estratégias a longo-prazo para instituir processos de gestão da qualidade em toda a organização.

Todas as ferramentas apresentadas neste capítulo têm os seus pontos fortes e menos fortes, no que diz respeito ao seu campo de aplicação. Desta forma, (Straker, 1995), revela através de um diagrama a relação que existe entre cada ferramenta e algumas aplicações práticas utilizadas como método de resolução de problemas:

Tabela 2.6-6 Relação entre ferramentas da qualidade

Relação: Forte (▲) Mediana (↗) Frac (▼)	Recolha de Dados			Tratamento de Dados		Aplicação Prática		
	Factos	Opiniões	Ideias	Números	Texto	Identificação	Seleção	Planeamento
Ferramenta:								
<i>Diagrama de Ishikawa</i>	↗	▲	▼		▲	↗	▼	
<i>Diagrama de Pareto</i>				▲		↗	▲	
<i>Folhas de Verificação</i>	▲			↗				
<i>Fluxograma</i>	↗	▼			▲	▼		

A Tabela 2.6-6 mostra que cada ferramenta foi pensada para atuar em determinada área, seja ela na recolha dos dados, no tratamento dos dados ou na aplicação prática, isto é, na tomada de ações consoante os resultados obtidos anteriormente.

Para o presente caso de estudo, e de forma a ir de encontro ao estudo do autor, iram ser utilizadas folhas de verificação para a recolha dos dados, neste caso para as reclamações de cliente, não conformidades por elemento, entre outras, o diagrama de Pareto para o tratamento desses mesmos dados, de forma a mostrar os elementos com maior destaque em cada análise, o diagrama de Ishikawa para a recolha e tratamento de dados ao nível dos estudo do processo em causa neste estudo e ainda os fluxogramas para descrever processos importantes para a análise do problema.

2.7. Exemplo Prático

A título de exemplo, apresenta-se neste capítulo um caso prático de aplicação das ferramentas da qualidade na caracterização, análise e resolução de problemas num processo como a pintura que abrange qualquer indústria, nomeadamente a indústria aeronáutica.

Derivado ao elevado número de não conformidades internas e rejeições por parte dos clientes, a empresa *SC Allcolors Serv Ltd* da Roménia, empresa líder em pintura electroestática, reconheceu que tinha de rever os seus processos e mentalidades dos seus funcionários. Nesse sentido foram aplicadas algumas técnicas de qualidade, nomeadamente (Boer & Blaga, 2012):

- *Brainstorming* – foram realizados momentos de troca de ideias e de debate de forma a serem identificadas potenciais falhas e soluções a serem trabalhadas para eliminar a taxa de rejeições. As ideias principais que ficaram da sessão foram: mudar o tipo de pintura, mudar o processo de pintura, aplicar uma camada mais fina de tinta, aumentar a concentração do químico da tinta nas bacias de tratamento, inspecionar o produto antes de pintura, inspecionar o produto pintado antes da aplicação da etiqueta, elaborar instruções de trabalho mais específicas para cada fase, nomear um responsável para inspecionar e testar as etiquetas antes da aplicação e criar a rotina de reavaliar as falhas, instruir novamente as pessoas e monitorizar o processo;
- Histograma – de forma a apresentar os elementos necessários para aumentar a satisfação do cliente e a qualidade do produto, durante a fase de brainstorming esta ferramenta (Figura

2.7-1), é utilizada para representar graficamente a quantidade de produtos rejeitados por tipologia de defeito;

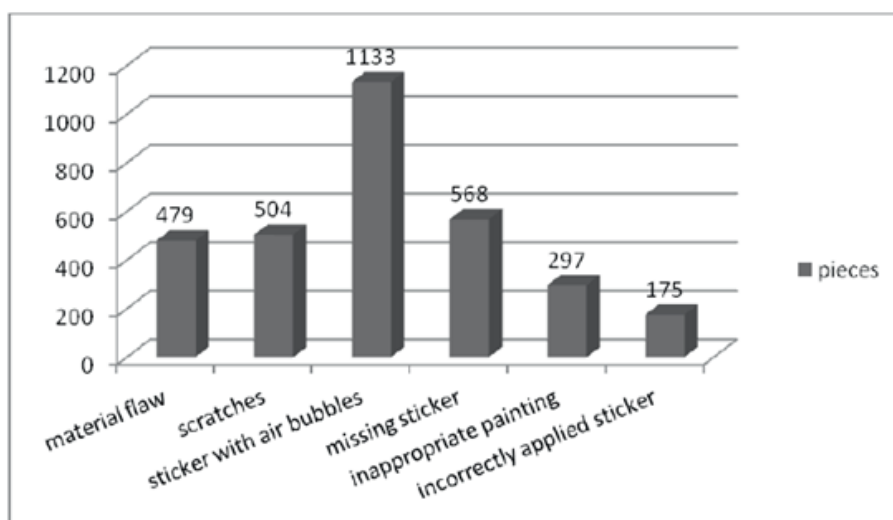


Figura 2.7-1 Monitorização de falhas nos produtos

- Diagrama de Pareto – ferramenta utilizada para determinar o tipo de defeito que gera mais rejeições e maior custo de reparação, dando origem à Tabela 2.7-1 abaixo. Os Diagramas de Pareto (Figura 2.7-2 e Figura 2.7-3), permitem visualizar de forma clara os defeitos mais frequentes e os que acarretam mais custos à empresa:

Tabela 2.7-1 Tipo de falha e causa

Tipos de falha	Número de falhas	Custos de reparação	Causas
Matéria-Prima	1133	23,793	Má escolha da Matéria-Prima
Riscos	568	8,613	Mau embalamento
Fita com bolhas de ar	504	1,6128	Falha do operador
Fita em falta	479	1,437	Falha do operador
Pintura incorreta	297	15,336	Falha do processo
Má aplicação da fita	170	0,528	Erro do operador
Total	3151	51,3198	

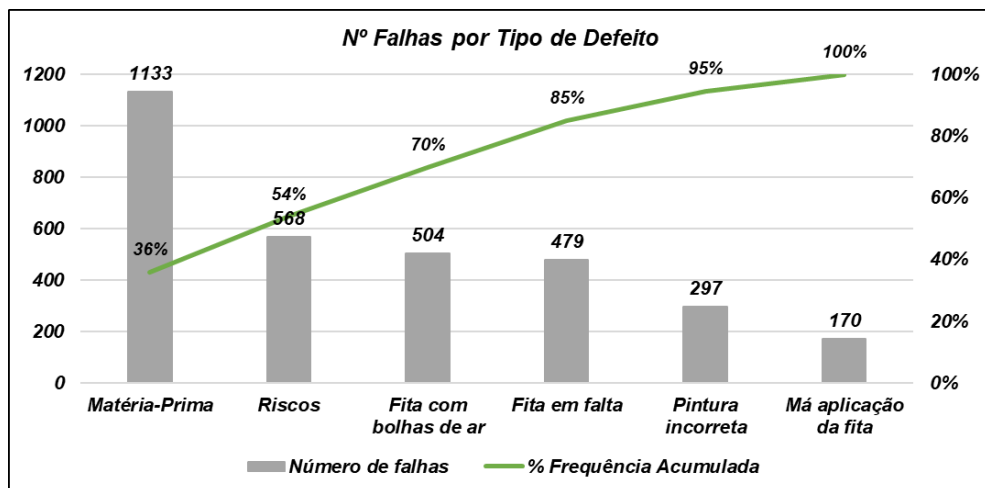


Figura 2.7-2 Diagrama de Pareto – N° Falhas por Tipo de Defeito

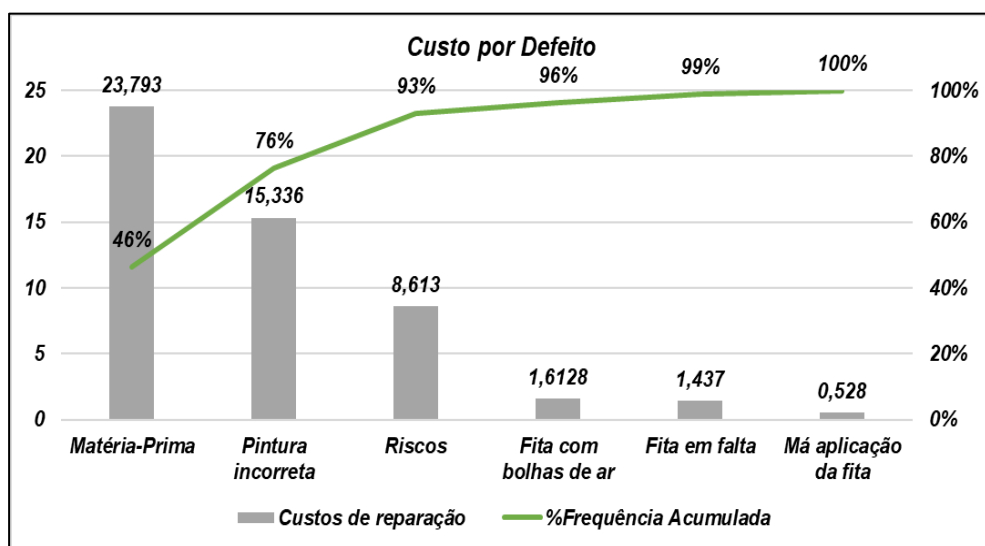


Figura 2.7-3 Diagrama de Pareto – Custo (milhares de euros) por Tipo de Defeito

- Diagrama de *Ishikawa* – ferramenta utilizada para identificar e enumerar as possíveis causas na origem de um determinado defeito (Figura 2.7-4). Nesta fase foram também introduzidos para análise os fatores humanos possivelmente envolvidos no problema diagnosticado. Sendo assim a empresa identificou os seguintes:

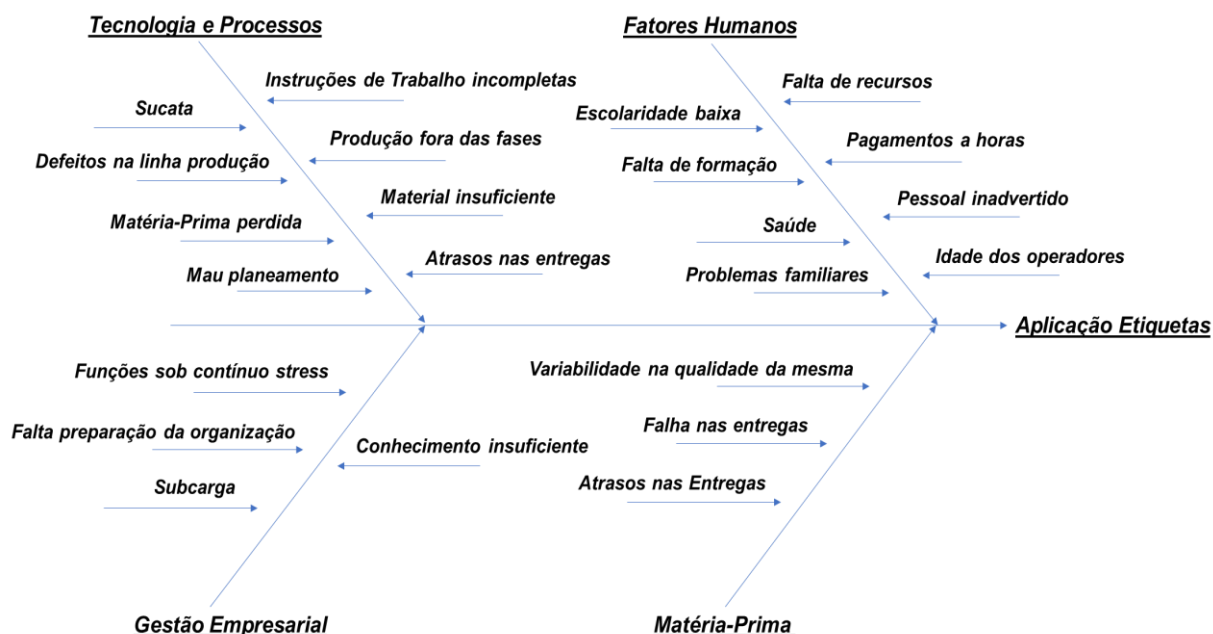


Figura 2.7-4 Diagrama de Ishikawa para o problema de “Erros de aplicação das etiquetas”

Através da informação apresentada, (Boer & Blaga, 2012) referem que o fator mútuo entre as inúmeras ocorrências resulta do fator humano (etiqueta em falta, etiqueta com bolhas, aplicação incorreta da etiqueta e pintura inadequada), enquanto que as restantes são derivadas de fatores externos que com ações efetivas e implementadas no seu devido tempo são capazes de eliminar facilmente.

Para todos estes fatores humanos foi delineado melhorar as ordens trabalho correspondente a cada fase de forma a tornar a informação do processo a realizar mais clara, objetiva e fácil de perceber, de forma a poder prevenir ocorrências de não conformidades. Com isto o número de falhas diminuiu significativamente.

Em suma o autor reafirma que os recursos humanos têm de ser envolvidos e incluídos na análise de problemas em qualquer indústria, pois um recurso bem instruído e fundamentado trará eficiência à empresa e à sua função.

Capítulo 3

Caso de Estudo

Todo o trabalho de investigação apresentado neste projeto e nomeadamente neste capítulo, desenvolveu-se em parceria com uma empresa centenária do ramo aeronáutico em Portugal, no qual se considerou benéfico para ambas as partes não mencionar o nome, de forma a minimizar a divulgação de quaisquer aspetos organizacionais, informações comprometedoras ao nível produtivo e ainda informações sensíveis de clientes. Deste modo, será mantida alguma privacidade dos documentos, processos, produtos e clientes, assim como qualquer valor monetário colocado será uma aproximação ao valor real.

3.1. Fixação de Estruturas Aeronáuticas

Na indústria da aviação não se consegue montar uma estrutura, entenda-se aeronave, sem a junção de várias peças provenientes de vários fornecedores, como tal a rebiteagem e a fixação de peças com parafusos continuam a ser os métodos mais utilizados para fixação destas estruturas (Park & Grandt, 2007).

Existem ainda outros métodos, tais como a soldadura, que também é utilizada em grande parte dos componentes que constituem uma aeronave e que continua a tentar ultrapassar a rebiteagem, no método de fixação de componentes na indústria aeronáutica, muito por culpa da redução do peso da aeronave que tal processo permite. A soldadura até já se vê mais capaz em termos de comportamento mecânico que a própria rebiteagem, isto em condições estáticas de movimento, pois em termos de esforços transversos e tensões de fadiga como é o caso de uma superfície exterior de uma aeronave isso já não é tão evidente.

A soldadura é um tipo de fixação rígida, isto é, não permite ser desmontada e reduz a liberdade de movimento dos elementos que une. É um tipo de ligação mais propensa à fratura do que a rebiteagem devido às tensões residuais que se acumulam no interior da solda. E sem robotização, vê-se muito dependente do operador que a realiza, requerendo desde logo um tipo de técnica mais específica que a rebiteagem.

(Humberto Mota de Siqueira et al., 2016) estudaram o comportamento mecânico de três provetes, ambos com duas chapas de alumínio temperado unidas em formato “T” (Figura 3.1-1), com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico dos três provetes ao nível da tensão máxima suportada por cada um, assim como a deformação máxima.

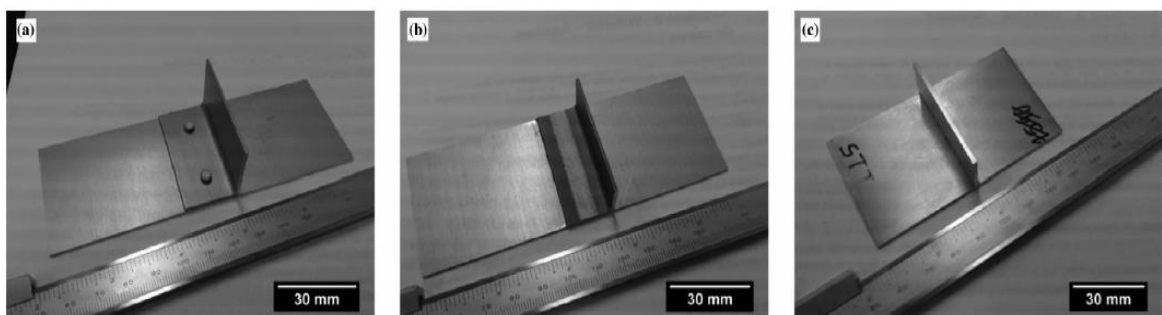


Figura 3.1-1 Provetes utilizados no ensaio experimental

Para isso, o provete “a)” foi rebitado com um rebite de liga de alumínio, o provete “b)” foi unido por soldadura de fricção (FSW) e o provete “c)” por soldadura por laser (LBW). O teste foi efetuado numa máquina de tração (Figura 3.1-2) a uma velocidade de 1,0 mm/min em condições de ambiente controlado de tensão máxima aplicada de 100 kN.

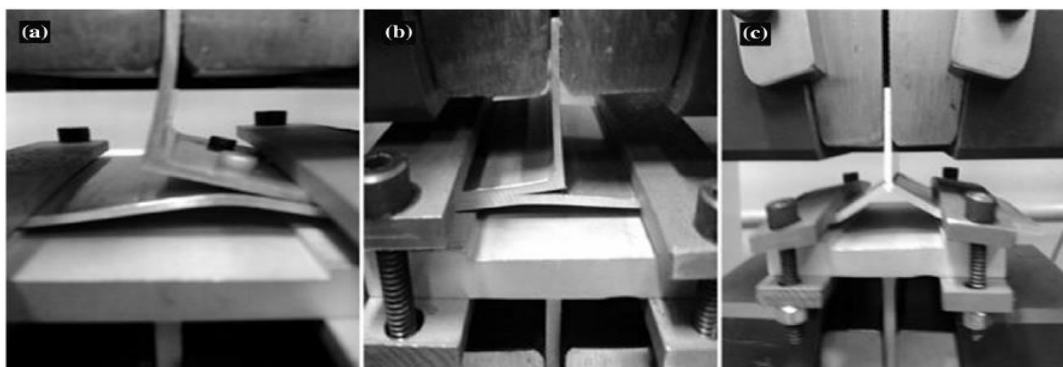


Figura 3.1-2 Provete durante o ensaio experimental

Os resultados mostram que o provete rebitado sofreu maior deslocamento para cargas mais baixas comparativamente aos outros dois métodos de soldadura (Figura 3.1-3), assim como também foi o provete com menor percentagem de deformação por alongamento, isto é, foi dos primeiros a fraturar (Figura 3.1-4).

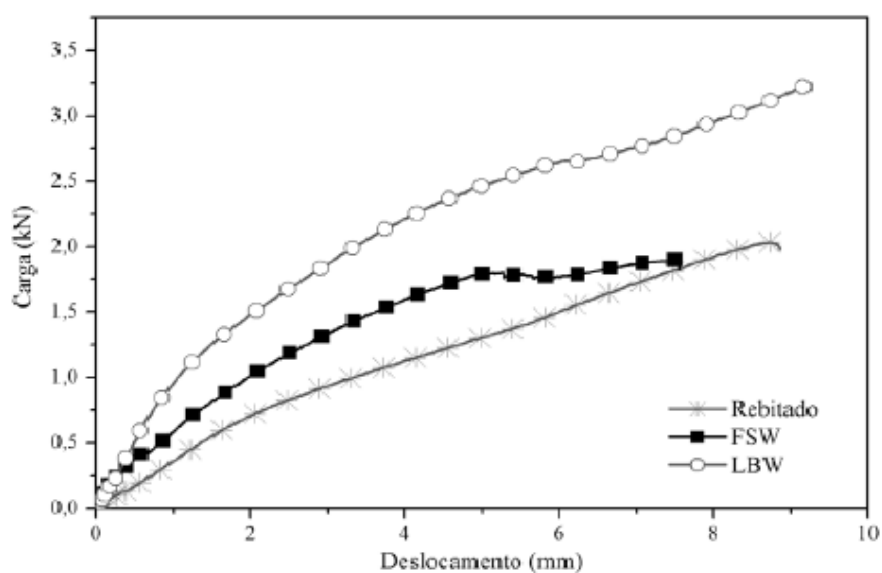


Figura 3.1-3 Carga (kN) vs Deslocamento (mm)

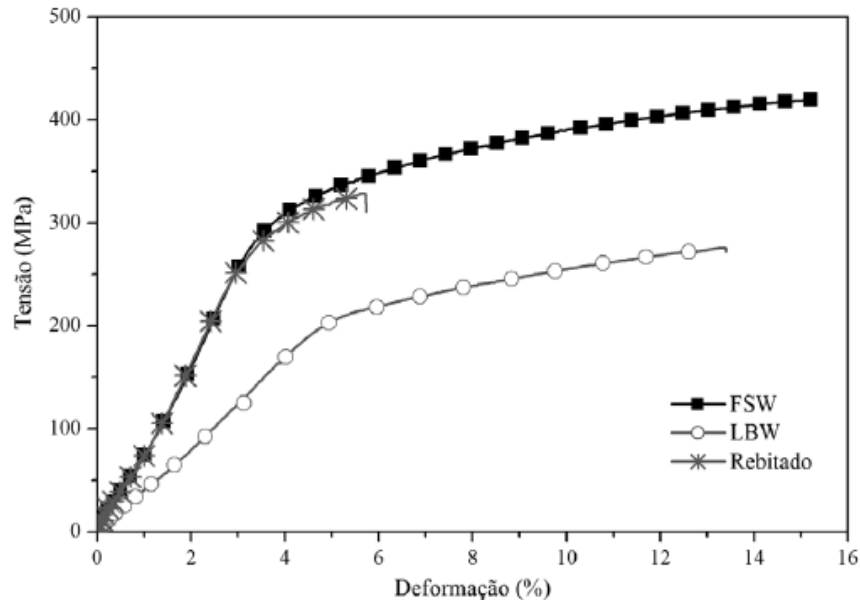


Figura 3.1-4 Tensão (MPa) vs Deformação (%)

Os resultados mostram que a soldadura é um método bastante viável e capaz de fazer frente à comum rebitagem, em zonas não sujeitas a movimentos transversos. Contudo, devido aos custos que este processo acarreta comparativamente à rebitagem, levam a que a sua implementação ainda seja vista como algo a longo prazo na indústria aeronáutica em larga escala.

Além dos custos materiais que os processo de soldadura acarretam, estes iriam exigir um renovar da linha de produção de uma aeronave, de forma a se adaptar à estrutura que este tipo de soldaduras necessita, quer em termos de espaço físico para as respetivas máquinas quer para a ordem de montagem devido aos acessos. Por esta razão, até se tornar economicamente viável, a rebitagem continuará a ser o método mais utilizado na indústria aeronáutica para unir os vários elementos constituintes de uma aeronave.

No caso prático a ser analisado neste projeto, os parafusos escareados (Figura 3.1-5) têm a sua cabeça nivelada com a superfície onde estão instalados, o que permite reduzir as forças de arrasto presentes numa aeronave, quando está exposta a ambiente de voo.



Figura 3.1-5 Parafuso de cabeça escareada

A garantia que as tolerâncias entre a cabeça do parafuso/rebite e a superfície onde está instalado são cumpridas permite poupar as áreas em causa à fadiga durante o ciclo de vida do avião. Isto porque o topo do furo onde se apresenta o chanfro, é a zona que mais carga suporta em zonas com este tipo fixação (Park & Grandt, 2007).

Os autores ensaiaram dois provetes fixados com furos e parafusos escareados (Figura 3.1-6), simulando um componente aeronáutico:

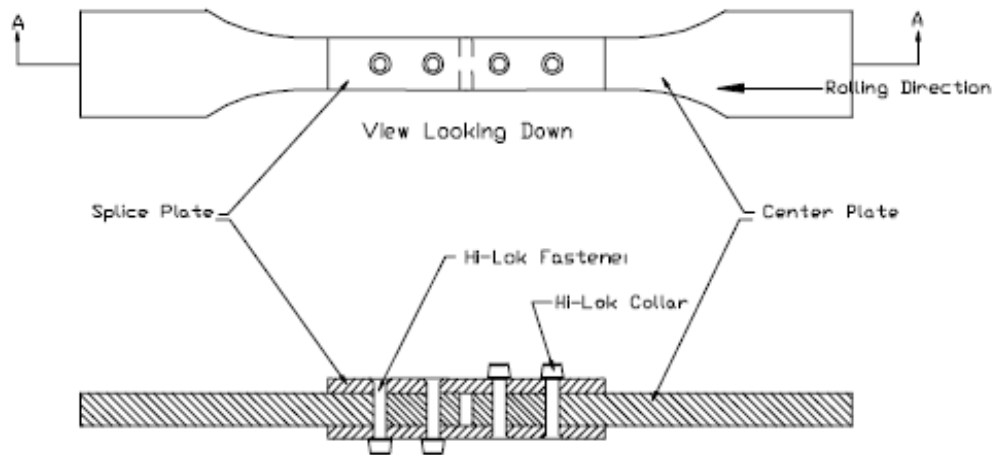


Figura 3.1-6 Provete de ensaio

O teste foi realizado numa máquina de ensaios de tração a uma carga cíclica de 89 kN e em ambiente de teste e humidade controlado, tendo o provete fraturado ao fim de 50,993 ciclos. No fim confirmou-se que a fadiga começou a propagar-se na base do escareado seguindo-se da fratura (Figura.3.1-7).

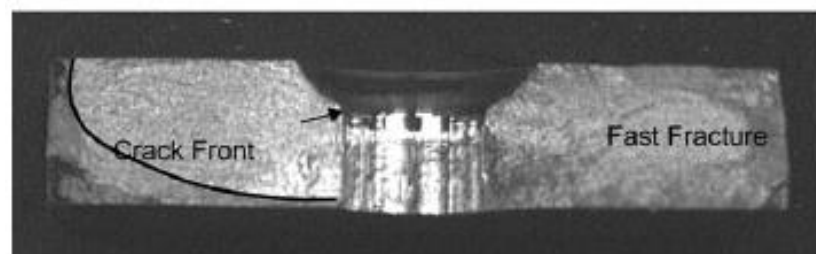


Figura 3.1-7 Fratura do provete por fadiga

Comprovando-se através da Figura 3.1-8 que esta foi a zona que suportou maior carga (6,9 MPa) durante o ensaio:

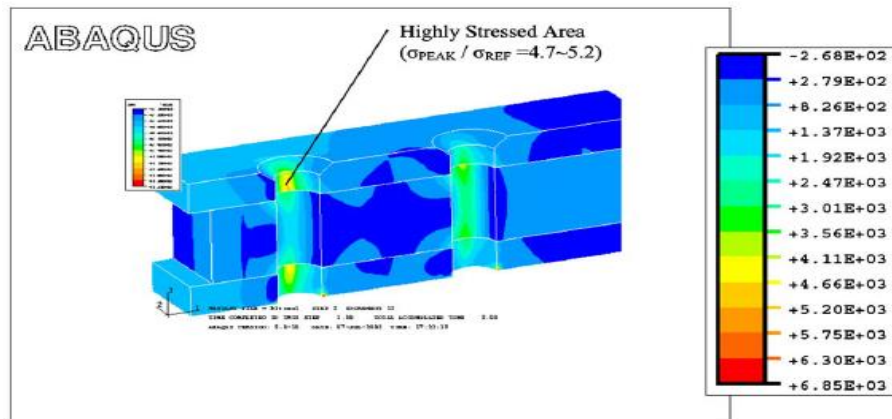


Figura 3.1-8 Simulação elementos finitos

Estes furos escareados são efetuados por ferramentas como brocas e fresas que ao longo do processo sofrem desgaste. Este se não for detetado poderá provocar furos fora de especificação e consequentemente um mau assentamento da cabeça do parafuso/rebite na superfície.

Park & Grandt (2007), referem que as ferramentas devem ser inspecionadas para confirmar o seu estado e para isso é atualmente utilizado o sistema demonstrado na Figura 3.1-9:

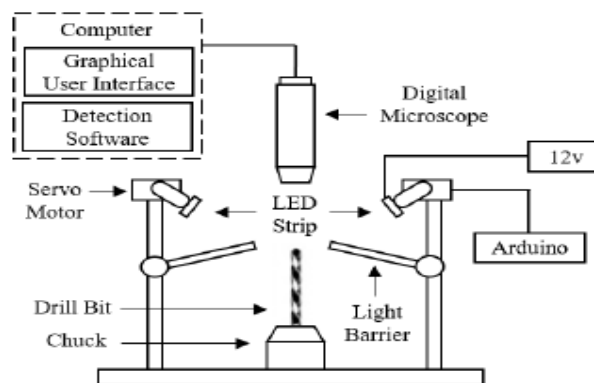


Figura 3.1-9 Método de inspeção de ferramentas de escarear e furar

(Ramzi & Bakar, 2018), explicam que a broca ou fresa é fixada e nela incide uma luz LED que capta imagens das superfícies de corte da mesma e envia para um computador. São utilizadas duas barreiras de luz para que não se tenha em conta a parte cônica da broca/fresa, pois é a que sofre menos desgaste

durante a furação e pode ser desprezada. Seguidamente é comparado o diâmetro atual da fresa com o seu diâmetro inicial quando era nova (Figura 3.1-10).

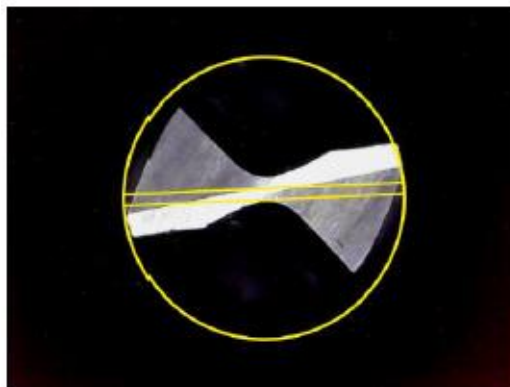


Figura 3.1-10 Imagem utilizada na inspeção de ferramentas de furar

Após esta análise valida-se ou não a ferramenta e procede-se à sua troca ou manutenção caso esteja fora de parâmetros.

3.2. Caracterização da Empresa

Trata-se de uma empresa centenária que presta serviços ao setor da aviação civil e militar e de competência reconhecida a nível internacional, que tem como objetivo o fornecimento de serviços de manutenção e fabricação de aeroequipamentos.

Tem como missão garantir que os seus processos de tomada de decisão assentam na mitigação dos riscos, segurança dos seus colaboradores e na entrega de um produto seguro e conforme.

Tem-se mostrado atenta à evolução da indústria aeronáutica, mantendo-se sempre à altura dos requisitos exigidos pelas Autoridades Aeronáuticas, exemplo disto são as várias certificações que possui, que sem as mesmas não poderia executar nenhum dos serviços que realiza, pois nelas se incluem certificações para manutenção de aeronaves (EASA Part 145) e de projeto (EASA Part 21 DOA) para fabricação de estruturas aeronáuticas.

A empresa possui ainda outras certificações, tais como:

- Aviação Civil – EASA Part 145, FAA Part 145 e EASA Part M – CAMO, CASA Part 145 (Austrália) e CAAR-145 (China);
- Conceção de componentes e estruturas – EASA Part 21J DOA;
- Aviação Militar – RML V-6ª (Suécia), FRA 145 (França), OMAD (Argentina);
- Produção – EASA Part 21G POA;

Todas estas emitidas pela FAA (*Federal Aviation Administration*), EASA (*European Aviation Safety Agency*), sendo que é ainda certificada pela EN 9100:2018, EN 9110:2018 e ISO 14001:2015.

3.3. Caracterização do Problema

Lembramos aqui que o problema em análise corresponde ao processo de furação e rebitagem do *Pylon*, componente descrito em detalhe no subcapítulo 3.4. A necessidade surge no número considerável de não conformidades e reclamações de cliente recebidas até à data deste elemento, que tem danificado a imagem da empresa perante o mesmo e internamente com a não qualidade apresentada.

Na primeira fase de análise do problema, foi elaborada uma recolha das reclamações de cliente abertas relativas ao problema em análise durante o ano 2018 e 2019, de maneira a fazer uma apreciação crítica daquilo que mais torna o cliente insatisfeito.

Desta forma distribuíram-se os tipos de defeitos reportados pelo cliente ao longo desses dois anos através do gráfico de Pareto da Figura 3.3-1:

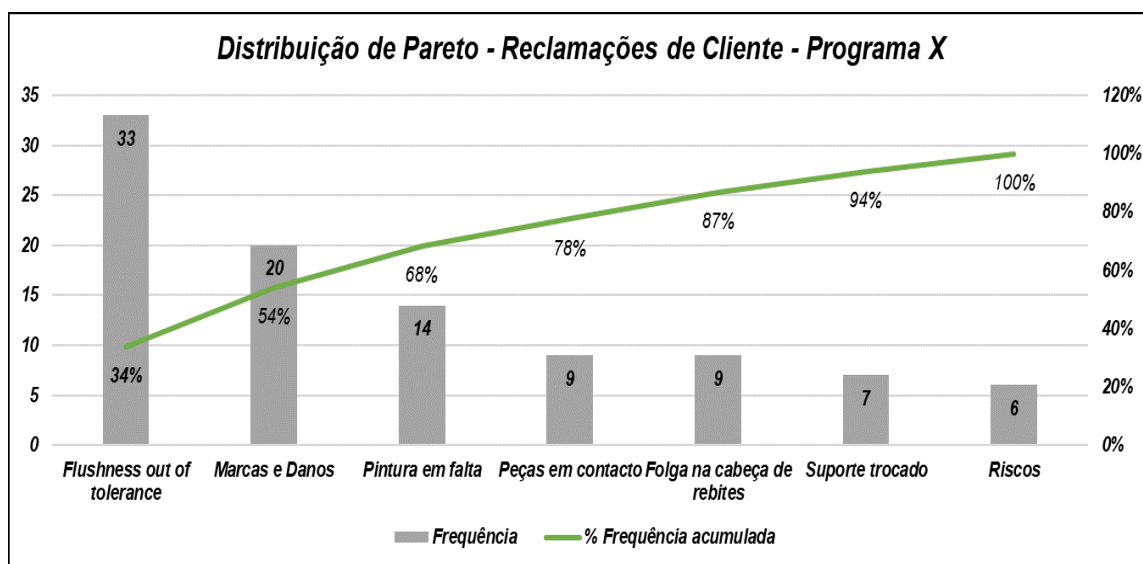


Figura 3.3-1 - Distribuição Pareto - Reclamações Cliente - Programa X

Analisando o Diagrama de Pareto observamos que os defeitos "*Flushness out of tolerance*" e "*Marcas e Danos*" são por si só responsáveis por 55% das reclamações de cliente, sendo o "*Flushness out of tolerance*" o que causa maior insatisfação no cliente com 34%.

Tendo em conta que cada reclamação aberta pelo cliente tem um custo direto de aproximadamente XXX€ e que para esta análise foram tidos em conta dados de 2018 e 2019, perfazendo um total de 112 reclamações, os 34% correspondentes ao tipo de defeito a ser estudado correspondem a XX XXX€ que a empresa teve de pagar, no balanceamento anual, ao cliente pela não qualidade demonstrada.

Se tivermos ainda em conta o custo diário relacionado com o trabalho burocrático do Engenheiro de Qualidade que conta com um horário laboral de oito horas, os custos são ainda acrescem mais. Tendo em conta este horário, se num dia efetuar a abertura de uma reclamação no sistema informático da empresa e contabilizando a triagem da mesma, são perdidas no mínimo 2 horas. Tendo por base as 112 reclamações obtidas nos anos de 2018 e 2019, estas correspondem a 224 horas de registo e triagem de cada uma das reclamações, que por sua vez correspondem a aproximadamente XXXX€ euros de custos da não qualidade. Por outro lado, temos os custos indiretos, como os atrasos na linha e produção do cliente, atrasos na linha de produção da própria organização, a insatisfação do cliente e a própria desmotivação dos trabalhadores pelo retrabalho efetuado.

Esta informação foi o *input* que provocou a necessidade de analisar este tipo de defeito e todo o processo envolvente, tentando encontrar melhorias ao processo capazes de mitigar o mesmo e ainda, estudar a capacidade do processo atualmente implementado.

3.4. Caracterização do Elemento

O elemento a estudar será o *Pylon* (Figura 3.4-1). Trata-se do elemento de ligação entre motor e estrutura (fuselagem) da aeronave, suportando assim os motores, como tal, qualquer folga entre um rebite/parafuso e o painel pode originar uma fratura por fadiga e propagação de fenda que poderá originar um acidente durante um voo.

O elemento é constituído na sua totalidade por materiais de ligas de titânio, alumínio e material compósito. Está dividido por 10 reforços estruturais ao longo do conjunto superior, isto é, são elementos projetados para oferecer maior resistência ao conjunto final depois de fixado à estrutura das aeronaves.

Estes reforços são denominados por *frames*, que são elementos colocados transversalmente ao eixo do avião e da fuselagem, com o intuito de oferecer maior resistência física e mecânica ao elemento em condições de voo (Cacciaguerra, 2017).

Todos os elementos de fixação (rebites e/ou parafusos), que serão analisados durante este projeto, estão sujeitos a tensões de corte, como tal a garantia do cumprimento das tolerâncias é bastante importante para a durabilidade e segurança do elemento.



Figura 3.4-1 *Pylon*

Para o estudo dividiu-se o conjunto superior (*Pylon*) em dois subconjuntos (Figura 3.4-2), sendo que ao longo do projeto a sua designação irá ser a seguinte:

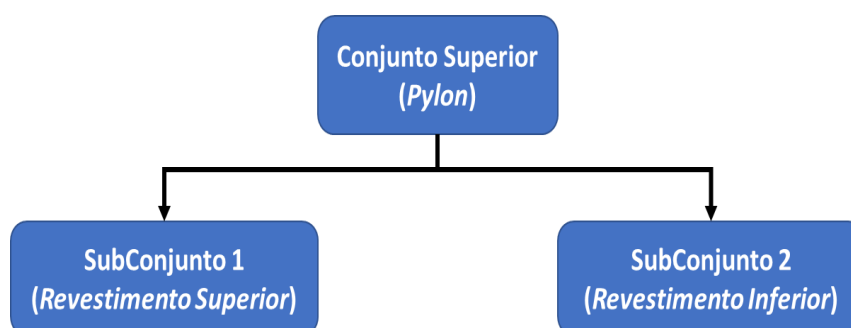


Figura 3.4-2 Constituição do *Pylon*

O conjunto superior é composto pela união do subconjunto 1 e do subconjunto 2 aos 10 reforços estruturais do elemento. Esta montagem que origina o conjunto superior é realizada numa ferramenta horizontal denominada por JIG (Figura 3.4-3).

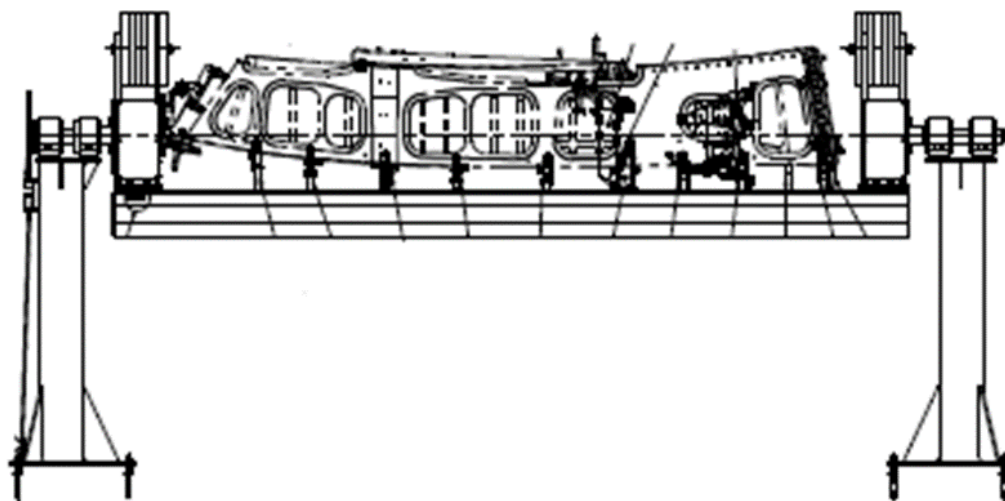


Figura 3.4-3 Estaleiro (JIG) de montagem do conjunto superior

O processo de montagem do conjunto superior (Figura 3.4-4), pode ser definido por quatro etapas: armazém, montagem, pintura, qualidade final e expedição respetivamente. Pode ainda ser representado pelo seguinte fluxograma, onde em losango estão designados os pontos de controlo dimensional:

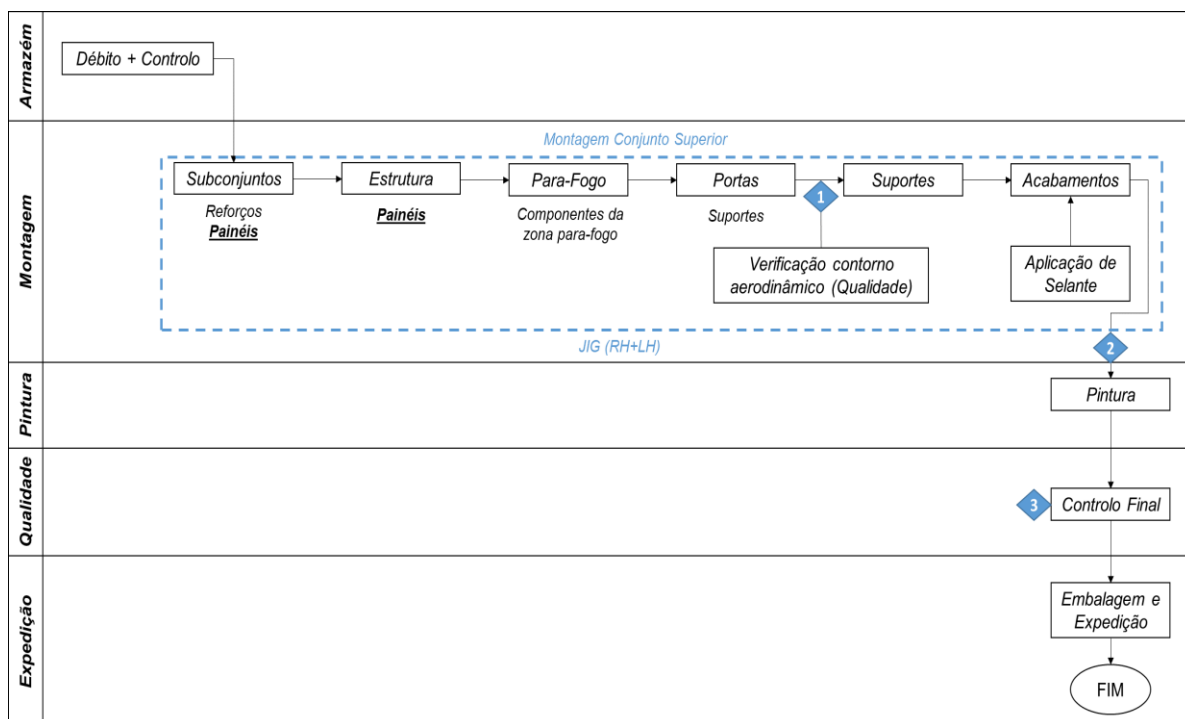


Figura 3.4-4 Fluxograma de Montagem do Conjunto Superior

A linha de montagem (Figura 3.4-5) é dividida por lado direito (“*Right Pylon*”) e lado esquerdo (“*Left Pylon*”) e composta por dez operadores qualificados, responsáveis por diversas tarefas de montagem, sendo que cada dois operadores estão dedicados exclusivamente a uma fase específica da montagem do conjunto superior, laborando sempre num turno de oito horas.

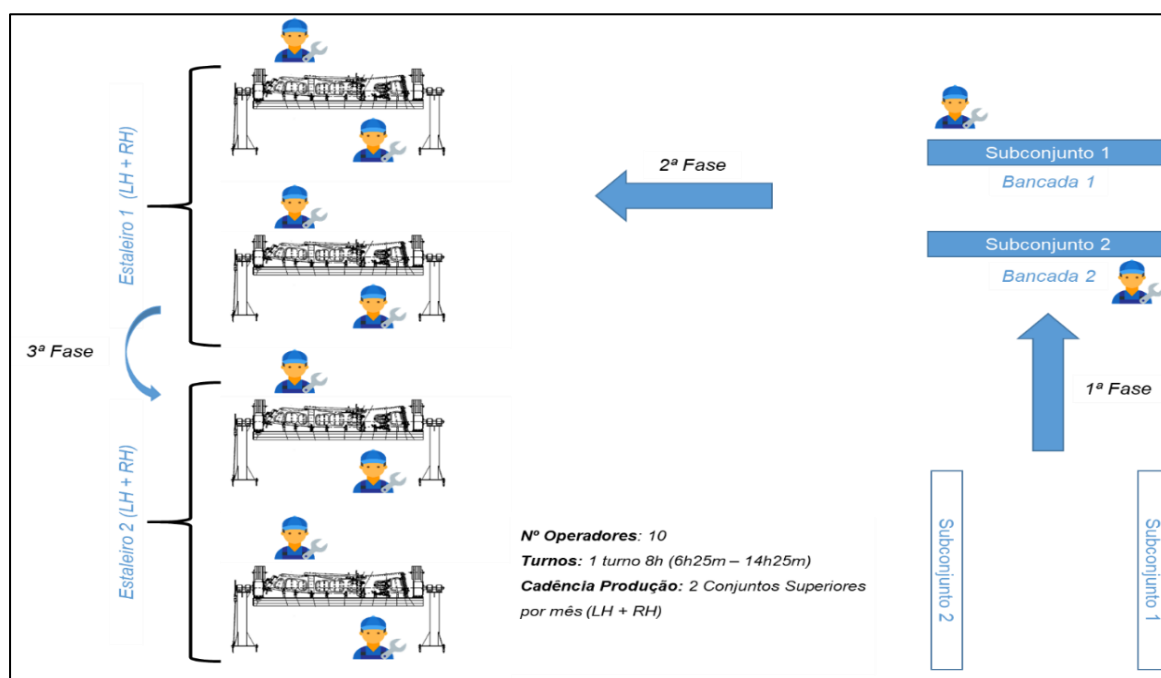


Figura 3.4-5 Linha de montagem do conjunto superior

No que diz respeito à montagem do conjunto superior, a mesma pode ser dividida em três fases:

- 1ª Fase – são efetuadas 110 cravações com escareado no subconjunto 1 na bancada 1, enquanto que no subconjunto 2 são efetuadas duas cravações com escareado na bancada 2, isto para se fixarem alguns suportes e pequenos reforços estruturais a ambos os subconjuntos;
- 2ª Fase – já no JIG de montagem (Figura 3.4-3) são efetuadas 354 cravações com escareado no subconjunto 1 e 246 cravações com escareado no subconjunto 2, para fixar as 10 *frames* no conjunto superior;
- 3ª Fase – fase de acabamentos e de montagem de borrachas e de outros elementos acessórios, antes da entrega do conjunto superior ao contro final de qualidade.

Em termos de especificação dos elementos que constituem o conjunto superior, o mesmo possui diversos tipos de rebites e parafusos, sendo que a quantidade aplicada em cada subconjunto também difere. Como tal foi feito o levantamento da especificação e quantidade de cada elemento aplicado em cada subconjunto, chegando-se aos resultados apresentados na Tabela 3.4-1 e a Tabela 3.4-2 abaixo:

Tabela 3.4-1 Especificação de elementos aplicados no Subconjunto 1 (Extraído da documentação de cliente)

<i>Especificação de elementos aplicados no Subconjunto 1</i>			
<i>Nomenclatura</i>	<i>Diâmetro Furo (mm)</i>	<i>Elemento</i>	<i>Quantidade</i>
322	3,3	1/8" Temperado	112
324	4,1	5/32" Temperado	178
332	4,1	5/32" Monel	13
331	3,3	1/8" Monel	4
613	4,1	Cherry 6,308	1
903-08	3,962	MGPL 3,962	46
926-28	4,962	MGPL 4,962	18
1154-57	3,962	Parafuso 3,962	43
1024-29	4,962	Parafuso 4,962	29
2024-29	4,990	Parafuso 4,990	21
2174	6,308	Parafuso 6,308	1

Tabela 3.4-2 Especificação de elementos aplicados no Subconjunto 2 (Extraído da documentação de cliente)

<i>Especificação de elementos aplicados no Subconjunto 2</i>			
<i>Nomenclatura</i>	<i>Diâmetro Furo (mm)</i>	<i>Elemento</i>	<i>Quantidade</i>
322	3,3	1/8" Temperado	13
324	4,1	5/32" Temperado	143
331	3,3	1/8" Monel	4
332	4,1	5/32" Monel	9
613	4,1	Cherry 6,308	1
903-08	3,962	MGPL 3,962	15
926-28	4,962	MGPL 4,962	11
1154-57	3,962	Parafuso 3,962	17
1024-29	4,962	Parafuso 4,962	13
2024-29	4,990	Parafuso 4,990	19
2174	6,308	Parafuso 6,308	1

São utilizadas onze referências de elementos de fixação, sejam parafusos ou rebites, no conjunto superior durante a montagem, variando em quantidade como é possível observar.

Para melhorar a compreensão da utilização destes elementos ao longo da estrutura do conjunto superior, dividiu-se cada subconjunto em áreas. O subconjunto 1 foi dividido em dez áreas de A a J (Figura 3.4-6), enquanto o subconjunto 2 foi dividido em catorze áreas de A a N (Figura 3.4-7).

Esta divisão ajudará mais tarde na análise a efetuar às não conformidades detetadas no cliente e ainda na organização.

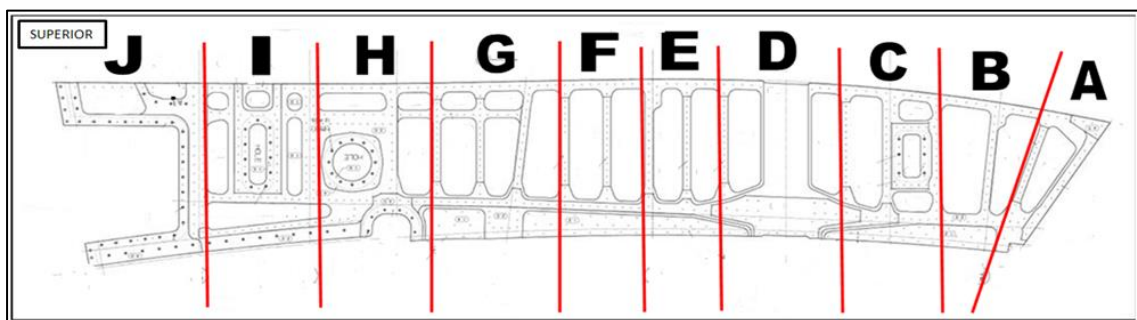


Figura 3.4-6 Áreas de Cravação Subconjunto 1

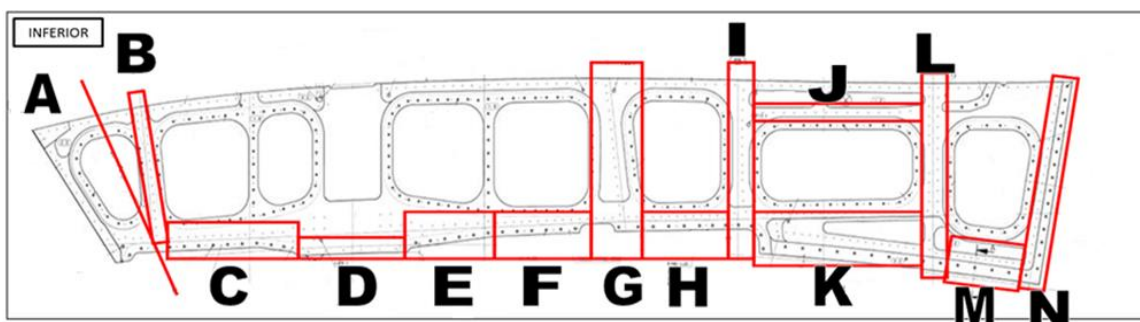


Figura 3.4-7 Áreas de Cravação Subconjunto 2

Relativamente ao subconjunto 1 e subconjunto 2, são aplicados por área, respetivamente, os seguintes elementos apresentados na Tabela 3.4-3 e Tabela 3.4-4:

Tabela 3.4-3 Matriz Localização dos Elementos aplicados no Subconjunto 1

Matriz Localização dos Elementos aplicados no Subconjunto 1											
Zona	322	324	332	331	613	903-08	926-28	1154-57	1024-29	2024-29	2174
A	16	2			1	3			11		1
B		17						1			
C	13	13				15	6	21	1		
D	14					3	1				
E	15	13				4	8				
F	28	10		4		6					
G	26	26				7					
H		31					2	9	3	2	
I		65				8		8		7	
J		1	13				1	4	14	12	

Tabela 3.4-4 Matriz Localização dos Elementos aplicados no Subconjunto 2

Matriz Localização dos Elementos aplicados no Subconjunto 2											
Zona	322	324	331	332	613	903-08	926-28	1154-57	1024-29	2024-29	2174
A		5			1			1	9		1
B		13				1					
C		11					4		1		
D											
E							7		1		
F		12									
G		18				1					
H		8									
I						2		10	2		
J		17									
K		38						2		8	
L	2		4	9		11		4		3	
M	11									7	
N		21								1	

Tendo em conta que todas as cravações são efetuadas pelo operador, somos capazes de aferir a probabilidade de falha em cada uma das localizações acima apresentadas, que nos permite desde logo aferir áreas que necessitem de maior atenção ao nível da qualidade da cravação e da inspeção em ambos os subconjuntos.

Desta forma determinaram-se as seguintes probabilidades de falha no subconjunto 1 (Tabela 3.4-5) e no subconjunto 2 (Tabela 3.4-6), respetivamente, dividindo o número de cravações de cada área pelo total de cravações em cada subconjunto:

Tabela 3.4-5 Probabilidade de falha por zona de cravação do subconjunto 1

Zona	Total	Probabilidade Falha
A	34	7%
B	18	4%
C	69	15%
D	18	4%
E	40	9%
F	48	10%
G	59	13%
H	47	10%
I	88	19%
J	45	10%

Tabela 3.4-6 Probabilidade de falha por zona de cravação do subconjunto 2

Zona	Total	Probabilidade Falha
A	17	7%
B	14	6%
C	16	7%
D	0	0%
E	8	3%
F	12	5%
G	19	8%
H	8	3%
I	14	6%
J	17	7%
K	48	20%
L	33	13%
M	18	7%
N	22	9%

A tolerância final a ser estudada, *flushness*, será a dimensão que vai desde a cabeça do elemento de fixação, seja ele um parafuso ou um rebite sólido, à face do elemento que está a fixar, como mostra o exemplo da Figura 3.4-8:

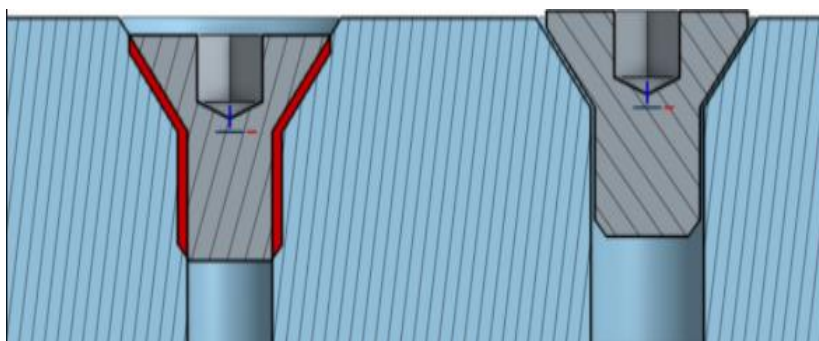


Figura 3.4-8 - Representação do termo *flushness*

Segundo normas do cliente, cada subconjunto tem zonas com diferentes tolerâncias admissíveis, estando elas definidas respetivamente na Figura 3.4-9 e na Tabela 3.4-7:

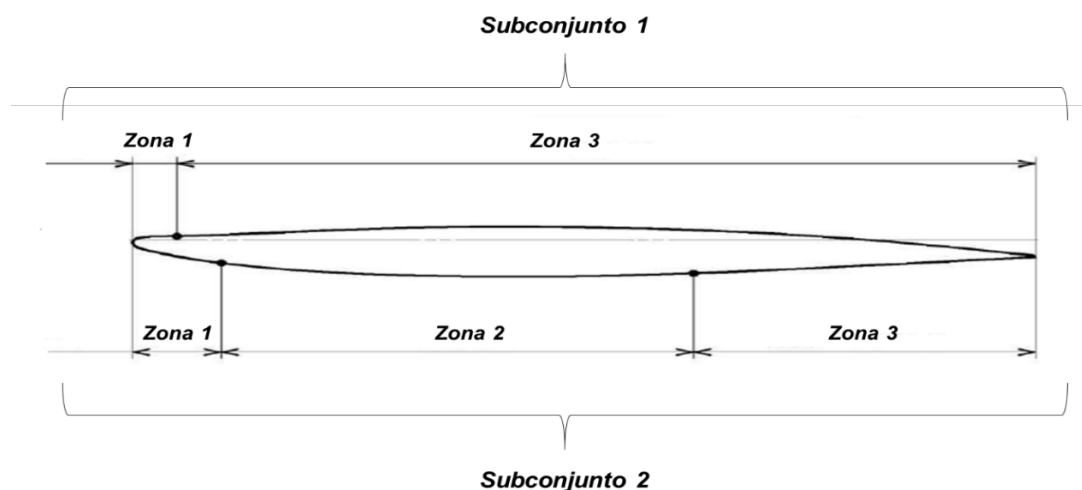


Figura 3.4-9 Caracterização das Tolerâncias Admissíveis por Zona do Elemento

Tabela 3.4-7 - Distribuição das tolerâncias por zona

Zona	<i>Dimensão máx. permitida entre cabeça dos elementos e superfície</i>
1	+ 0,10 mm - 0,05 mm
2	+ 0,15 mm - 0,05 mm
3	+ 0,20 mm - 0,05 mm

As tolerâncias a controlar no produto final como se pode observar na tabela acima são apertadas e o processo bastante variável e manual, ficando desta forma dependente da variabilidade humana, como tal qualquer efeito externo ao processo pode influenciar o resultado.

Desta definição de intervalo de tolerâncias podem resultar dois tipos de Não Conformidades:

- “*Acima da tolerância*” – quando, depois de aplicado o parafuso e/ou rebite, verifica-se uma sobre espessura maior que o limite da tolerância, entre a cabeça do parafuso e a superfície;
- “*Abaixo da tolerância*” – quando, depois de aplicado o parafuso e/ou rebite, verifica-se um rebaixo menor que o limite da tolerância, entre a cabeça do parafuso e a superfície.

O processo de fabrico é constituído por onze fases de controlo de qualidade, sendo que nas fases 1, 2 e 3 (inspeção inicial, intermédia e final respetivamente), são controlados todos os elementos

cravados aos subconjuntos, de maneira a evitar alguma falta de qualidade que acabe por chegar ao cliente, embora se veja pelos dados que irão ser apresentados no próximo capítulo, que os escapes de qualidade existem.

Estas fases de controlo são definidas respetivamente na Tabela 3.4-8:

Tabela 3.4-8 – Fases de Controlo de Qualidade do Conjunto Superior

Fase	Descrição
1	<p>Descrição: Inspeção Inicial</p> <p>Pontos de controlo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verificação do correto posicionamento de todos os componentes conforme Instruções de Montagem; - Verificação dos escareados conforme Instruções de Montagem de acordo com normas e tolerâncias de cliente; - Verificação da cravação conforme Instruções de Montagem de acordo com normas e tolerâncias de cliente;
2	<p>Descrição: Inspeção Intermédia.</p> <p>Pontos de controlo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verificação do correto posicionamento de todos os componentes conforme Instruções de Montagem; - Verificação dos escareados conforme Instruções de Montagem de acordo com normas e tolerâncias de cliente; - Verificação da cravação conforme Instruções de Montagem de acordo com normas e tolerâncias de cliente;
3	<p>Descrição: Inspeção Final</p> <p>Pontos de controlo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verificação do correto posicionamento de todos os componentes conforme Instruções de Montagem; - Verificação dos escareados conforme Instruções de Montagem de acordo com normas e tolerâncias de cliente; - Verificação da cravação conforme Instruções de Montagem de acordo com normas e tolerâncias de cliente;

3.5. Caracterização do Processo de Escarear

O processo de escarear no elemento de conjunto superior, seja ele no subconjunto 1 ou subconjunto 2, pode ser dividido em 6 etapas, nomeadamente:

1. Deve ser identificado pelo operador, o diâmetro da furação a realizar para o elemento (parafuso ou rebite) requerido pelo cliente, sempre com o auxílio das instruções técnicas de montagem presentes na linha de produção;

2. Em local designado para tal, aprovisionar o corpo de prova para teste, isto é, um elemento do mesmo material que os subconjuntos (Figura 3.5-1 – 1), berbequim pistola (Figura 3.5-1 – 2), broca (Figura 3.5-1 – 3) e chaminé (Figura 3.5-1 – 4), para proporcionar precisão máxima na localização do furo e efetuar as furações de teste (Figura 3.5-1 – 5);

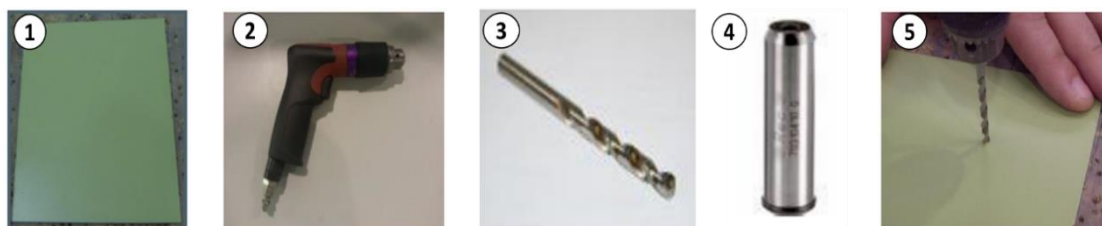


Figura 3.5-1 Material necessário para executar o processo de escarear

3. O escareado é realizado após o furo, pois a sua função é criar um rebaixo para o rebite ou parafuso ser alocado aquando da cravação no painel, de forma a que o mesmo fique à sua superfície. Deve-se aprovisionar a fresa com o respetivo suporte micrométrico (Figura 3.5-2 – 1), de acordo com o elemento requerido e testar os escareados nas furações efetuadas no ponto anterior no corpo de prova (Figura 3.5-2 – 2);

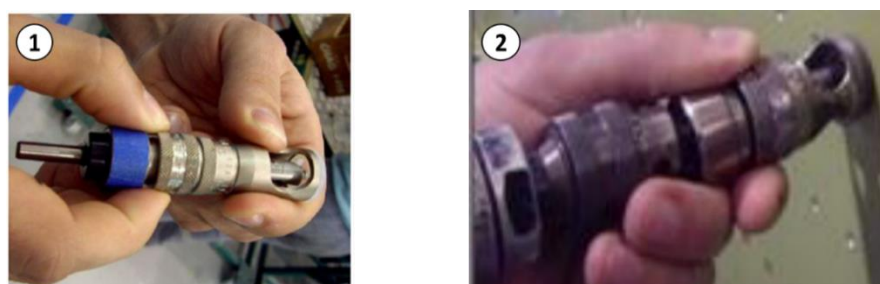


Figura 3.5-2 Teste do escareado no corpo de prova

4. Caso o escareado esteja fora de tolerância (Tabela 11), deve-se afinar o suporte micrométrico (Figura 3.5-3 – 1) e repetir até garantir a conformidade do mesmo. Para certificar a conformidade do escareado, deve ser instalado o parafuso ou rebite e deve-se proceder à sua mediação através de um comparador (Figura 3.5-3 – 2);

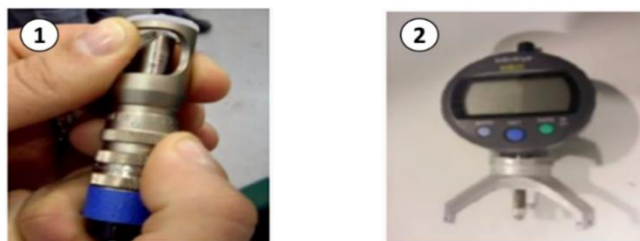


Figura 3.5-3 Afinação da fresa e medição do escareado efetuado

5. Após a afinação do escareado no corpo de prova, executa-se o 1º furo no elemento conjunto superior, isto é, no subconjunto 1 e subconjunto 2, de seguida o escareado e verifica-se mais uma vez se se encontra dentro de tolerância;



Figura 3.5-4 Iniciação dos escareados do elemento conjunto superior e respetiva avaliação com comparador

6. Caso esteja dentro de tolerância, executam-se os restantes furos e escareados no elemento em que se esteja a operar.

É possível também avaliar pelo seu aspeto visual um escareado, pois este deve conter uma superfície uniforme e sem ressaltos. Na Figura 3.5-5 é mostrado dois tipos de escareados que se podem encontrar aquando da avaliação do mesmo, isto é, um escareado não conforme (NOK) e conforme (OK):



Figura 3.5-5 Conformidade de um escareado

Como mostrado com a caracterização do processo, o correto cumprimento do mesmo e das suas etapas depende fortemente do operador. O processo é todo ele dependente do fator humano, isto é, da sua capacidade para a execução da tarefa, não é algo que se consiga padronizar de tal modo que torne possível terminar com o aparecimento de um escareado fora de tolerância.

O suporte micrométrico referenciado acima, assume-se como um elemento chave neste processo, isto porque a afinação executada dita a conformidade do escareado. Este tem como função determinar a profundidade requerida para o escareado, graças ao seu ajuste manual que define o avanço da fresa, isto é, a profundidade de corte da mesma. Esta operação é realizada pelo operador que define, dependendo do requisito, o avanço da fresa e que o fixa graças ao regulador que existe no conjunto (Figura 3.5-6).



Figura 3.5-6 Suporte Micrométrico

Aquando da avaliação da conformidade de um escareado, seja ela efetuada pelo operador que o realiza ou pelo inspetor nas fases de controle de qualidade, existe a possibilidade de o mesmo se encontrar “*abaixo da tolerância*” ou “*acima da tolerância*” definida pelo cliente (Tabela 15). Os casos “*acima da tolerância*” são retificados e novamente controlados, como esquematizado no fluxograma do processo da Figura 3.5-7. Para os casos “*abaixo da tolerância*” é aberta uma FNC (Ficha de Não Conformidade), pela Engenharia do Produto/Design da empresa em questão, onde é exposto o defeito ao cliente a fim de requisitar uma possível disposição (proposta de reparação), para se corrigir o escareado. Este processo é realizado desta forma, pois a empresa em estudo é responsável apenas pela produção do elemento do conjunto superior (POA), como tal, sempre que efetua algum defeito no produto que não seja passível de reparação sem alterar a configuração do produto final (conjunto superior), a empresa deve solicitar uma disposição à empresa dona do projeto e design (DOA), neste caso o cliente.

No fluxograma apresentado é demonstrado o processo de avaliação da conformidade de um escareado, assim como as ações que são tomadas em cada uma das decisões.

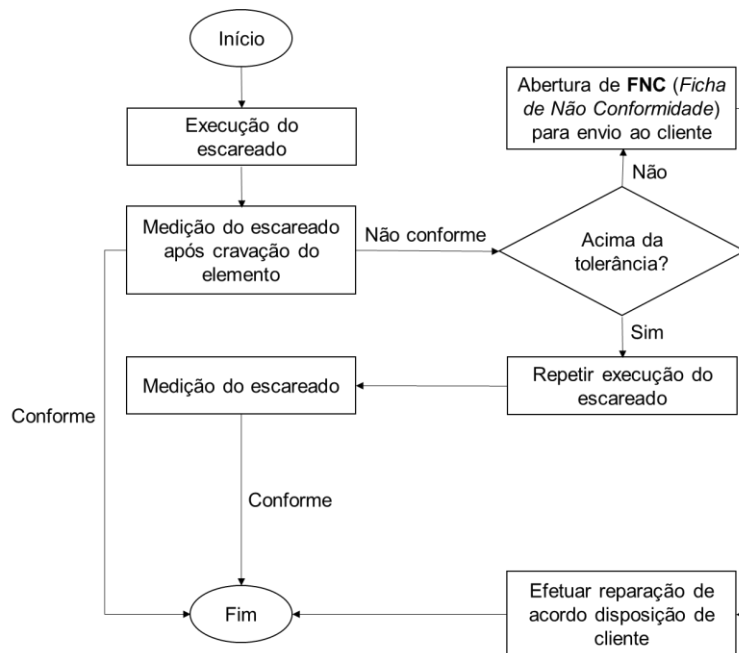


Figura 3.5-7 Processo de avaliação da conformidade de um escareado

Pretende-se analisar este processo e os seus intervenientes, de forma a tornar possível identificar possíveis melhorias ao mesmo, que diminuam ao máximo a probabilidade de realizar um escareado fora de tolerância e que o mesmo seja reclamado pelo cliente.

3.6. Análise das Não Conformidades

O tratamento de qualquer reclamação recebida dentro da empresa em questão segue o fluxo definido na Figura 3.6-1. O processo é composto por oito etapas, nomeadamente:

1. **Receção da Reclamação** – onde é feita a triagem das evidências enviadas pelo cliente, o registo e partilha da reclamação dentro do sistema da organização;
2. **Investigação** - onde é tratado o conteúdo da reclamação em conjunto com as restantes áreas técnicas da empresa, Engenharia e Produção, a fim de se chegar à responsabilidade técnica da mesma. Após isto, é registada a investigação no sistema da organização;
3. **Validação Comercial** – a área comercial valida a investigação realizada, aprovando desta forma a responsabilidade final da reclamação, sendo que, em caso de não aprovação a reclamação volta para a etapa anterior;
4. **Comunicação com Cliente** – a investigação realizada e aprovada pela área comercial é enviada para o cliente para a sua aprovação;
5. **Reposição da Conformidade (se aplicável)** – em caso da peça ser devolvida pelo cliente e for retrabalhada dentro da organização, é reposta a conformidade da mesma e registado este processo no sistema;

6. **Apuramento de Custos (se aplicável)** – registos dos custos associados com o tratamento desta reclamação, caso tenha sido necessário efetuar uma viagem para retrabalhar algum artigo nas instalações do cliente, caso se tenha enviado uma peça em substituição ou se tenha retrabalhado internamente;
7. **Contencioso (se aplicável)** – abertura de processo contencioso pela área jurídica;
8. **Conclusão do Tratamento da Reclamação** – sendo que nesta fase já foi partilhada a análise da reclamação com o cliente, assim como a respetiva responsabilidade, a reclamação é fechada com a sua aceitação.



Figura 3.6-1 Tratamento de Reclamações dentro da Organização

Para a análise do defeito escolhido para a análise, foram filtradas todas as reclamações de cliente relativas ao defeito e distribuídas pelo correspondente elemento do conjunto superior, direito e esquerdo, e ainda por subconjunto afetado (Tabela 3.6-1), de forma a melhorar a visão global da não qualidade por elemento (Figura 3.6-2 e Figura 3.6-3).

Tabela 3.6-1 Reclamações de Cliente

<i>Reclamações de Cliente - Programa X</i>			
<i>Zona</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Subconjunto 1</i>	<i>Subconjunto 2</i>
Direito (RH)	9	4	5
Esquerdo (LH)	24	7	17

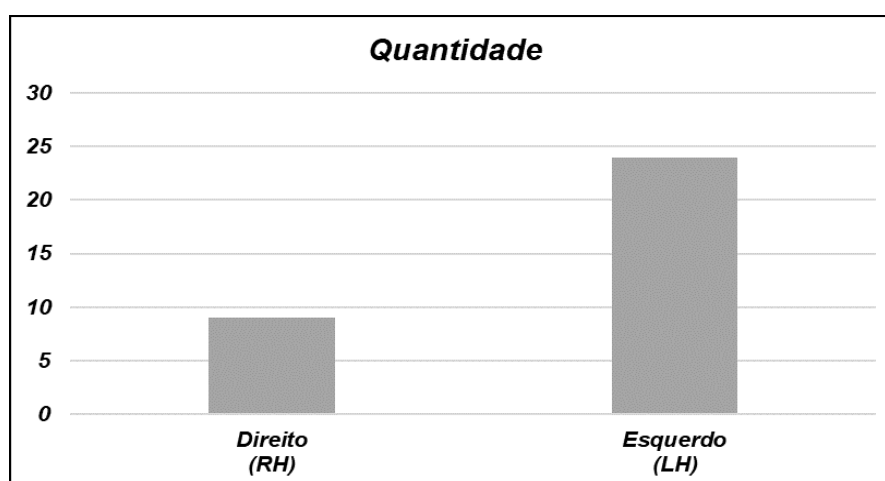


Figura 3.6-2 Quantidade vs Conjunto Superior afetado

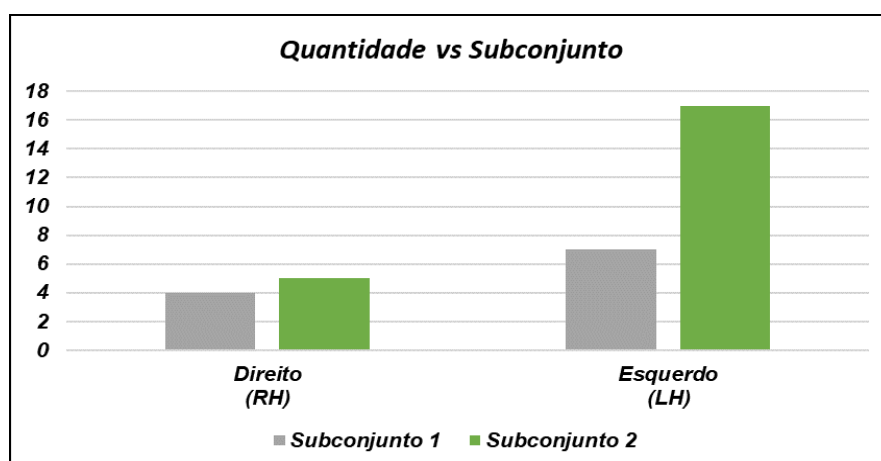


Figura 3.6-3 Quantidade vs Subconjunto afetado

É possível observar que o subconjunto 2 é o foco da maioria das reclamações recebidas por parte do cliente e que o elemento esquerdo (LH) também acarreta grande parte das mesmas.

Durante o controlo de qualidade efetuado nas fases 285 e 433, onde são controlados todos os elementos cravados por zona, é preenchida uma *checklist* de registo de parafusos ou rebites fora de tolerância (Anexo I e Anexo II), onde são reportados todos os elementos fora de tolerância por zona (Tabela 3.6-2). Através da mesma foram recolhidos os dados de forma a verificar se existe alguma preponderância do defeito por zona, estando os mesmos representados nas Figuras 3.6-4 e na Figura 3.6-5):

Tabela 3.6-2 Não Conformidades Internas

<i>Não Conformidades Internas</i>			
<i>Zona</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Subconjunto 1</i>	<i>Subconjunto 2</i>
Direito (RH)	89	60	29
Esquerdo (LH)	207	101	106

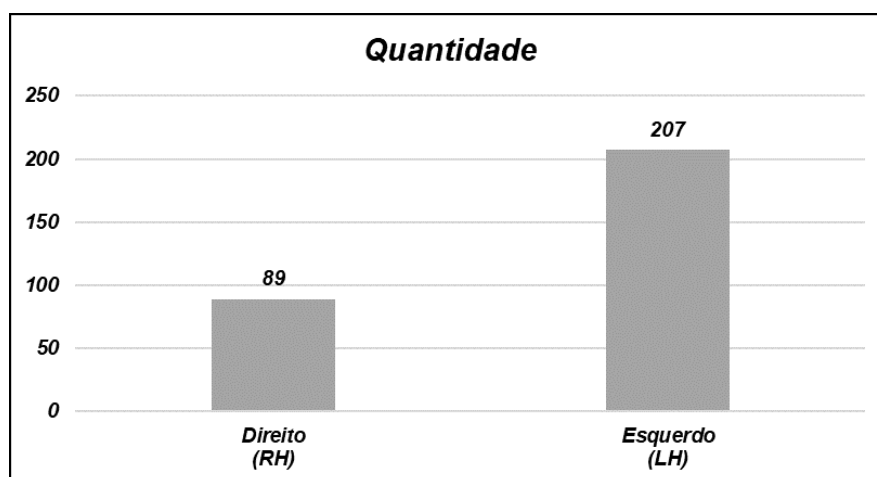


Figura 3.6-4 Quantidade vs Elemento

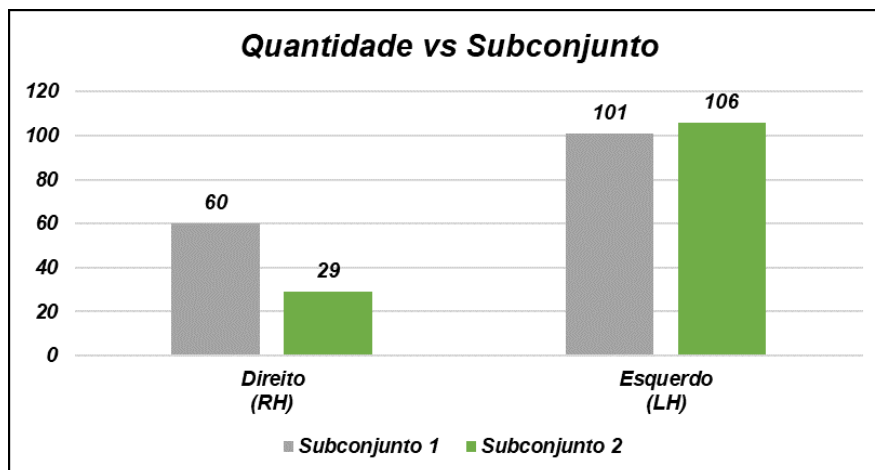


Figura 3.6-5 Quantidade vs Subconjunto

Mantêm-se a tendência e tanto o elemento esquerdo como o subconjunto 2 são os que conduzem a mais elementos fora de especificação.

Para melhor estudar o processo, foi feita a análise por tipo de defeito, isto é, se a medida tirada ficou acima ou abaixo da especificação de acordo com a Tabela 3.6-3. Foram tidas em conta as reclamações de cliente durante o ano de 2018 e 2019 e não conformidades internas detetadas durante o controlo de qualidade intermédio, como tal chegou-se aos seguintes resultados:

Tabela 3.6-3 Reclamações de Cliente por tipo de defeito

Tipo Defeito	Subconjunto 1	Subconjunto 2
<i>“Flushness” Acima da Tolerância</i>	20	37
<i>“Flushness” Abaixo da Tolerância</i>	1	2

Ressalvar que para a construção da tabela acima, foram estratificadas as 33 reclamações de cliente consideradas para esta análise, na medida em que foram retiradas de cada uma, o tipo de defeito reportado (*“Acima da Tolerância”* ou *“Abaixo da Tolerância”*), sendo que como exemplo, uma reclamação pode conter 3 elementos reportados *acima da tolerância* e 2 *abaixo da tolerância*.

Como mostra a Figura 3.6-6, o subconjunto 2 é o foco da maioria das reclamações recebidas por parte do cliente e que o elemento esquerdo (LH) também acarreta grande parte das mesmas.

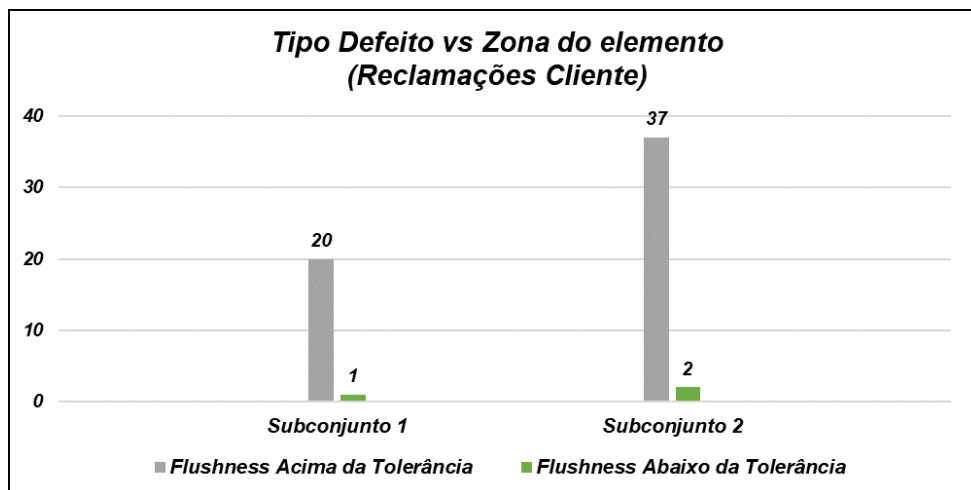


Figura 3.6-6 Reclamações de Cliente por tipo de defeito

É importante também definir o tipo de defeito pelo elemento onde tem maior preponderância, chegando assim ao resultado da Figura 3.6-7, onde mais uma vez, se comprova a supremacia do elemento esquerdo.

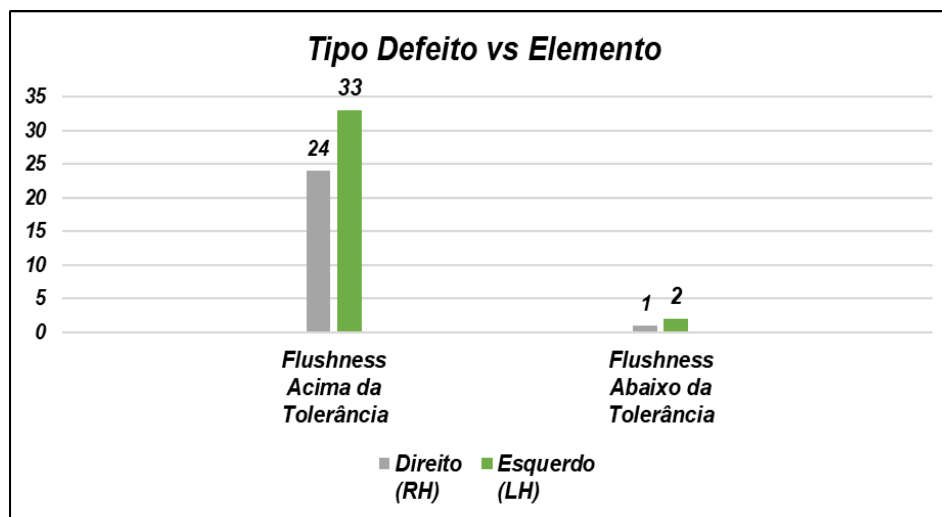


Figura 3.6-7 Tipo Defeito vs Elemento (Reclamações Cliente)

Na Tabela 3.6-4, estão representadas as não conformidades internas detetadas durante as inspeções finais efetuadas aos subconjuntos, onde através da Figura 3.6-8 se verifica que, caso não fosse controlado este parâmetro durante as inspeções, o número de reclamações seria ainda relativamente superior ao atual.

Tabela 3.6-4 Não Conformidades Internas

Não Conformidades Internas		
Tipo Defeito	Subconjunto 1	Subconjunto 2
<i>“Flushness” Acima da Tolerância</i>	61	92
<i>“Flushness” Abaixo da Tolerância</i>	95	39

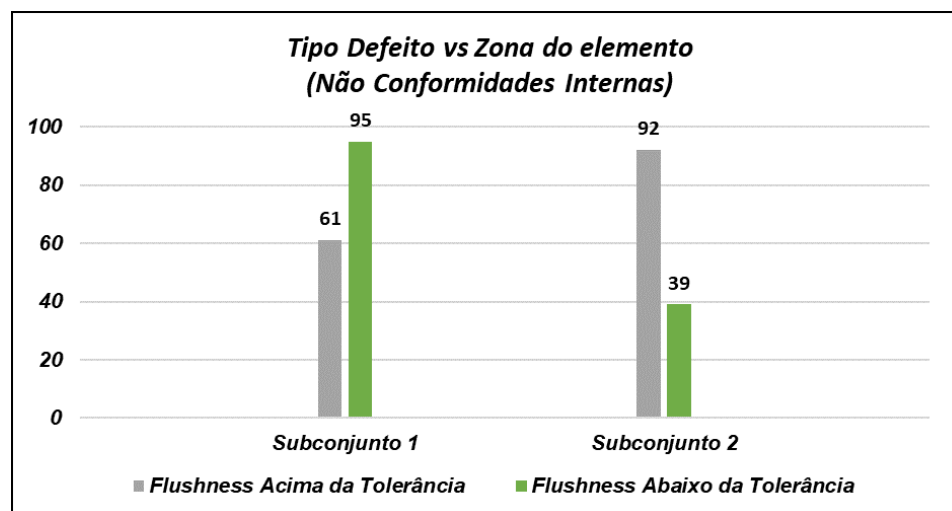


Figura 3.6-8 Tipo Defeito vs Zona do elemento (Não Conformidades Internas)

O subconjunto 2 é o maior responsável de defeitos com *flushness acima da tolerância* enquanto que o subconjunto 1 é o maior responsável de defeitos com *flushness abaixo da tolerância*. Mais uma vez pretendeu-se identificar o elemento com maior preponderância de ocorrência do defeito, chegando assim ao resultado da Figura 3.6-9, onde mais uma vez, se comprova a supremacia do elemento esquerdo em ambos os defeitos.

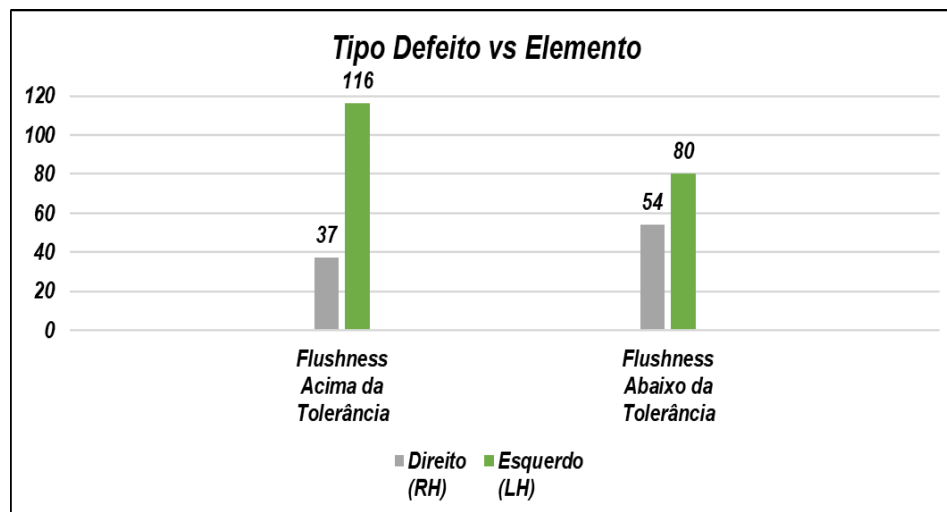


Figura 3.6-9 Tipo Defeito vs Elemento (Não Conformidades Internas)

Na *checklist* de registo de elementos fora de tolerância, anteriormente referida (Anexo I e Anexo II) e Figura 3.6-10 e Figura 3.6-13, pretendeu-se ir ao detalhe e como tal, foram apontadas as localizações de todos os defeitos, de forma a permitir através de um gráfico de Pareto encontrar zonas que contabilizem aproximadamente 80% de elementos fora de especificação. Isto também permitirá encontrar os tipos de elementos de cravação que se traduzem em mais defeitos, para que se possa estudar a particularidade de cada um.

Como tal, chegou-se aos resultados apresentados na Tabela 3.6-5, Figura 3.6-11 e Figura 3.6-12:

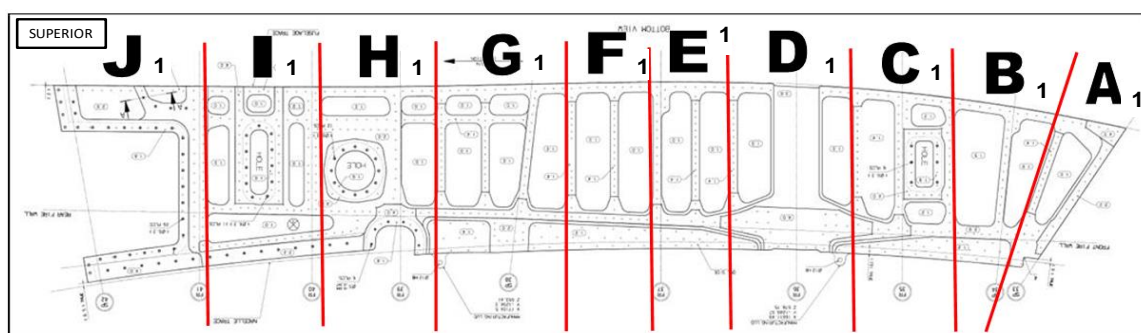


Figura 3.6-10 Áreas de cravação do subconjunto 1

Tabela 3.6-5 Resultados do controle de qualidade efetuado no subconjunto 1

	<i>“Flushness” Acima da Tolerância</i>	<i>“Flushness” Abaixo da Tolerância</i>
A_1	31	4
B_1	10	3
C_1	9	21
D_1	0	3
E_1	4	6
F_1	5	1
G_1	2	19
H_1	4	15
I_1	11	22
J_1	6	1

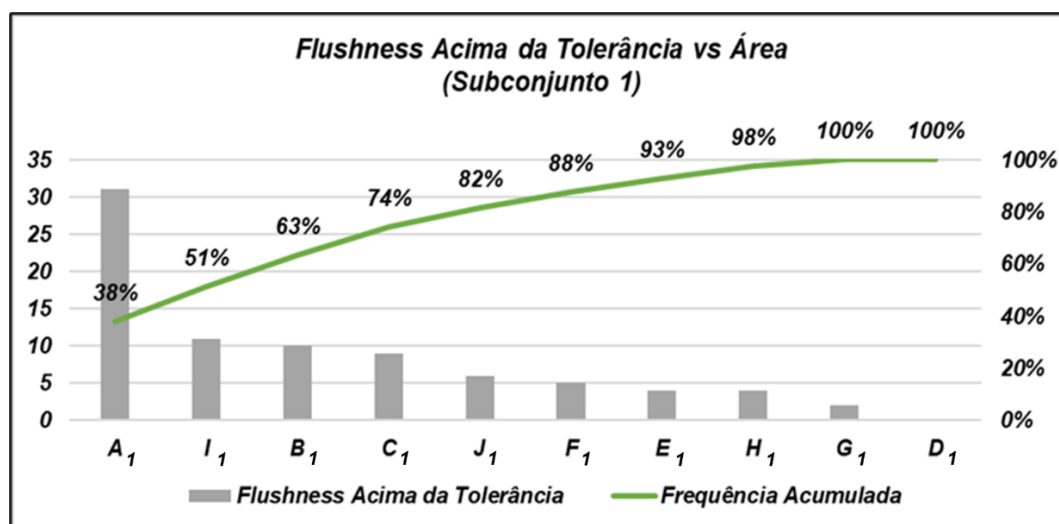


Figura 3.6-11 Elementos reportados no controle de qualidade acima da tolerância no subconjunto 1

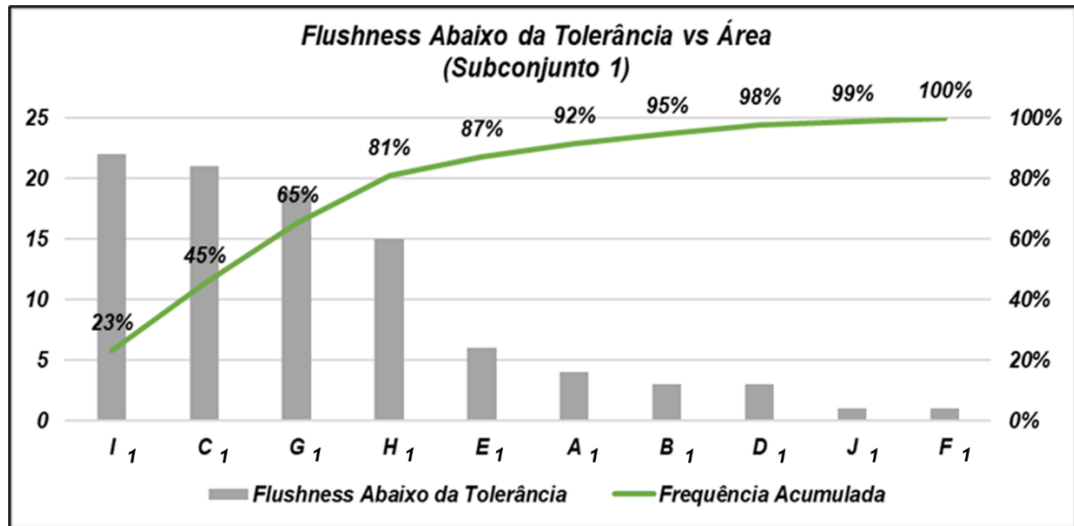


Figura 3.6-12 Elementos reportados no controlo de qualidade abaixo da tolerância no subconjunto 1

De notar que a área I₁, encontra-se dentro das três áreas mais afetadas, tanto para defeitos *acima da tolerância* como *abaixo da tolerância*.

Por outro lado, para o subconjunto 2 obtiveram-se os resultados representados na Tabela 3.6-6, Figura 3.6-14 e Figura 3.6-15:

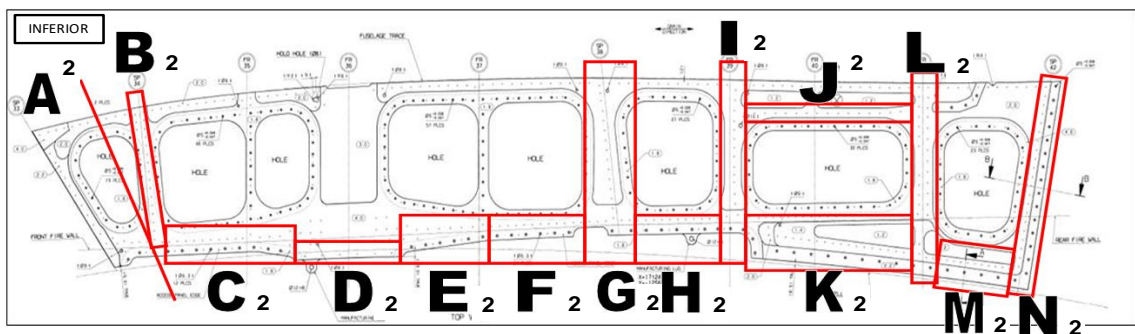


Figura 3.6-13 Áreas de cravação do subconjunto 2

Tabela 3.6-6 Resultados do controle de qualidade efetuado no subconjunto 2

	<i>“Flushness” Acima da Tolerância</i>	<i>“Flushness” Abaixo da Tolerância</i>
A_2	31	3
B_2	18	0
C_2	8	1
D_2	0	2
E_2	0	1
F_2	7	0
G_2	4	2
H_2	5	0
I_2	2	1
J_2	3	9
K_2	22	12
L_2	8	4
M_2	8	0
N_2	4	7

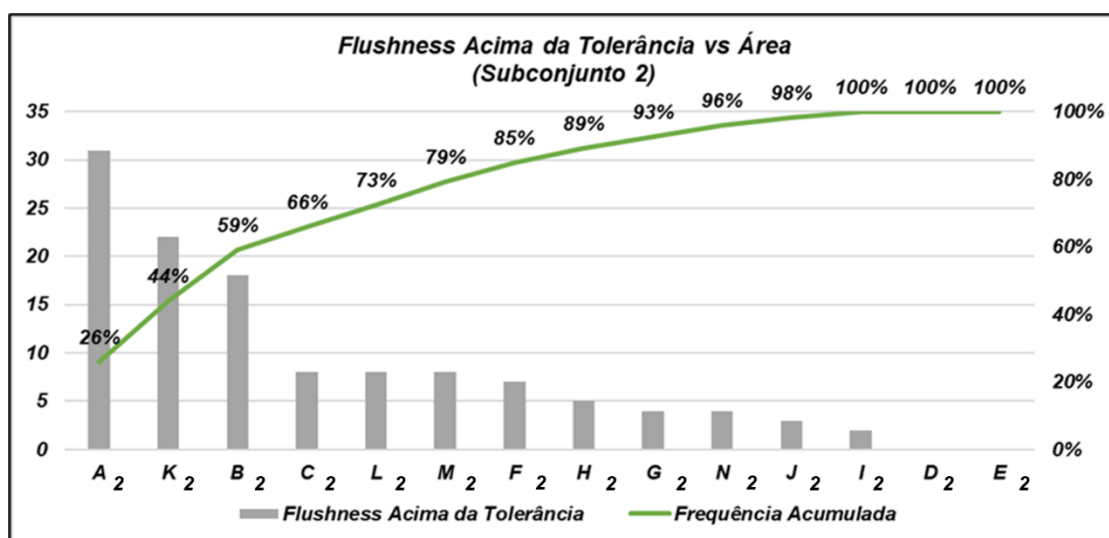


Figura 3.6-14 Elementos reportados no controle de qualidade acima da tolerância no subconjunto 2

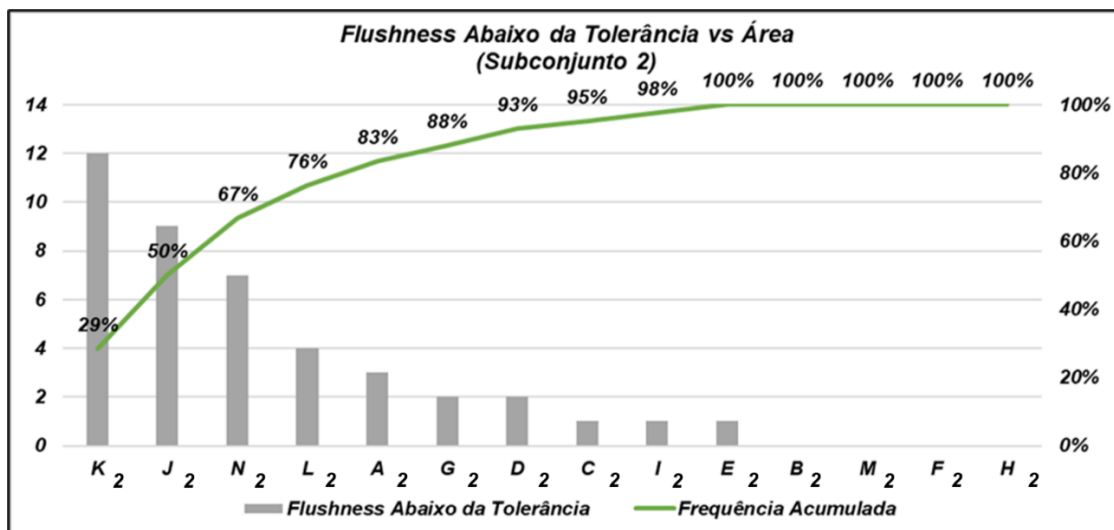


Figura 3.6-15 Elementos reportados no controlo de qualidade abaixo da tolerância no subconjunto 2

De notar que a área K_2 , encontra-se dentro das três áreas mais afetadas, tanto para defeitos *acima da tolerância* como *abaixo da tolerância*.

3.7. Análise ao Processo

No presente capítulo é realizada a análise do processo determinado no capítulo anterior, ou seja, o processo que apresenta maior taxa de não conformidades externas (cliente), tornando o mesmo insatisfeito. Desta forma, foi utilizado o Diagrama de *Ishikawa*, técnica apresentada no capítulo 2, subcapítulo 2.6.2, de forma a identificar possíveis causas que estejam na origem do defeito em causa, isto porque a sua origem não é óbvia nem resultado de uma só situação, mas sim de um acumular de situações ao longo de todo o processo.

Como tal, foi reunida uma equipa multidisciplinar, composta por elementos diretamente ligados ao produto, nomeadamente:

- Um Engenheiro de Qualidade (autor), responsável por liderar a reunião e apresentar os dados analisados das não conformidades à restante equipa para discussão e análise;
- Um Engenheiro de Processo, conhecedor do produto (conjunto superior) e das suas configurações e requisitos;
- O monitor da linha de produção, que neste caso é quem gere toda a equipa e a distribuição de trabalhos na linha de produção;
- Um operador da linha que trabalha simultaneamente nas bancadas 1 e 2 e no estaleiro 1, que lida regularmente com este tipo de furação com escareado;
- O inspetor de qualidade do elemento, que avalia a conformidade do produto nas suas várias vertentes, inclusive na avaliação dos escareados efetuados nos subconjuntos 1 e 2.

Foram realizadas duas reuniões com duração de 1 hora, numa sessão de *brainstorming*, embora tenha muitas conversas informais com os membros da equipa durante o dia-a-dia, onde a sinergia de pensamento de cada um dos membros do grupo de trabalho, resultou na identificação das causas abaixo identificadas na Figura 3.7-1 no diagrama de Ishikawa:



Figura 3.7-1 Diagrama de Ishikawa para análise do defeito *Flushness out of tolerance*

Foram identificadas 11 causas principais para a ocorrência do efeito/defeito em estudo, sendo que se identificaram ainda para essas 11 causas, 10 sub-causas. Destas, ao nível do processo foi possível chegar às seguintes conclusões:

- Notou-se que no geral existe uma falta de controlo das ferramentas de corte, isto é, não é controlada a sua limpeza geral pelos operadores (Figura 3.7-2), não é verificado se as fresas se encontram danificadas após um turno e trabalho, entre outras, ação que devia ser efetuada diariamente pelos operadores;



Figura 3.7-2 Presença de limalhas nas fresas de escarear

- A base do suporte micrométrico, denominada por limitador, elemento fabricado em teflon (componente branca na Figura 3.7-3), acumula limalhas ao longo das furações que, se não limpas, podem influenciar o escareado. Isto deve-se ao facto de o suporte micrométrico ser regulado em profundidade (avanço vertical), definindo desta forma a profundidade pretendida do escareado, mas qualquer acumulação de limalhas na base do suporte influenciará a altura do escareado, tornando possível que o mesmo fique fora de tolerância. A mesma também está sujeita a desgaste, e como verificado na Figura 3.7-3, foram mesmo encontradas algumas destas bases com falta de material;



Figura 3.7-3 Desgaste e falta de material no limitador das fresas de escarear

- O tambor do suporte micrométrico é regulado e apertado na posição que o operador valida aquando da afinação do escareado referida no capítulo 3.5. Acontece que após essa regulação os operadores colocam fita-cola (Figura 3.7-4), de maneira a que o mesmo não se mova durante a furação. Fica a questão se esta verificação e este processo de afinação do escareado

tem vindo a ser efetuado regularmente, isto é, sempre que se inicia os trabalhos de furação com escareado por parte dos operadores e ainda se não existe movimento da catraca do suporte micrométrico durante a furação, isto é, tenha ficado mal fixada e se tenha movimentado durante os trabalhos;



Figura 3.7-4 Suporte micrométrico das fresas de escarear fixos com fita-cola

- Verificou-se ainda, efetuando uma análise ao processo de furação dos subconjuntos nas bancadas 1 e 2, que as mesmas permitem flexão transversal dos subconjuntos quando o operador efetua a furação (Figura 3.7-5). De notar que a afinação e teste das fresas nos corpos de prova é efetuada com os elementos fixos e sem movimento, condição essa não garantida pelas bancadas (Figura 3.7-6), condição esta que influencia a conformidade do escareado;

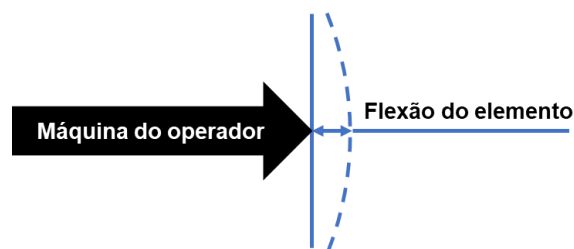


Figura 3.7-5 Flexão submetida aos subconjuntos aquando da furação nas bancadas 1 e 2

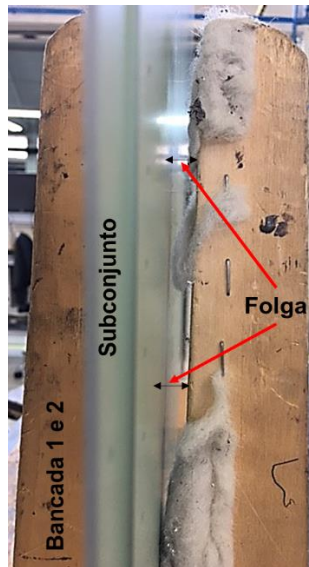


Figura 3.7-6 Folga presente entre a bancada 1 e 2 e o respectivo subconjunto

- O controlo de qualidade efetuado pelo técnico de qualidade é um processo exaustivo (8 horas), o que como visto no capítulo 2.5 deste projeto, torna a realização desta atividade propensa à falha, pelo que um método que ajudasse a reduzir este tempo de inspeção, mantendo a fiabilidade da mesma seria bem-vindo tanto para o técnico de qualidade como para o *takt time* do produto;
- O comparador utilizado na medição da altura dos escareados, um comparador da marca “Mitutoyo ABSOLUTE” (Figura 3.7-7) com resolução adequada ao tipo de medição de 0.001mm. Este instrumento de medição, tal como qualquer outro dentro da organização, faz-se acompanhar, informaticamente no sistema da empresa, por um relatório dimensional e possuiu ainda um plano de calibração próprio, anual, onde é avaliado o seu estado exterior quanto a danos ou marcas que tenham influência na medição, e ainda quanto à sua função. Desta forma, são efetuadas várias medições e comparadas com padrões de forma a calcular sua incerteza de medição, para no fim ser elaborado um relatório onde se concluiu a sua aceitação para retorno à sua função, ou rejeição, caso o instrumento já não garanta fiabilidade nas suas medições. Apesar de estar dentro do período de calibração, foi desde logo notado que a mola do comparador se encontra pouco tensa, o que faz variar em alguns casos 1 ou 2 centésimas os resultados obtidos durante as medições, o suficiente para induzir em erro que está a efetuar a medição;



Figura 3.7-7 Comparador utilizado pelo controlo de qualidade e produção para verificação das tolerâncias do *flushness*

- Não existe um berbequim pistola para cada operador. Visto que a afinação no corpo de prova do escareado é efetuada em conjunto com a pistola e com o operador, esta afinação é efetuada de acordo a força manual do operador. Ora, se outro operador, por alguma razão substituir o que efetuou a afinação do escareado na primeira vez, irá utilizar todo o conjunto para escarear os elementos, mas acontece que a força aplicada na pistola para se conseguir o escareado é diferente de pessoa para pessoa, logo comprometerá a conformidade do mesmo;
- Tem-se notado uma ligeira rotatividade de operadores na linha de produção devido a diversos fatores, nomeadamente mudança de instalações desde um hangar para outro, algumas divergências pessoais entre operador e monitor e ainda algumas baixas e/ou afastamentos do posto de trabalho. A experiência na função dos novos operadores para com as exigências do cliente não é a mesma que os com mais antiguidade.

O acumular das situações descritas acima são potenciais causas para a ocorrência do defeito, sendo que com base nas mesmas pretende-se agora analisar o risco que cada uma representa para o produto, propor algumas melhorias de processo que permitam reduzir a probabilidade de falha.

Para isso, foi elaborada uma avaliação simplificada de risco, que permite avaliar cada causa quanto ao seu risco para o processo, isto é, risco de ocorrer este tipo de não conformidade durante o processo de escarear, que por sua vez impactará a qualidade do produto. Esta avaliação permitirá gerir a prioridade de implementação da melhoria que se pretenda para mitigar cada uma delas.

O objetivo é oferecer uma relação entre a probabilidade de ocorrência de cada causa e o impacto que cada um terá no processo de escarear e na qualidade do produto. Assim sendo, para definir esta probabilidade e respetivo impacto, foram criadas as Tabelas 3.7-1 e Tabela 3.7-2 abaixo:

Tabela 3.7-1 Descrição da probabilidade associada ao risco

Probabilidade	Descrição
4. Muito Frequente	Facilmente pode ocorrer e comprometer o processo
3. Pouco Frequente	Poderá ocorrer e comprometer o processo
2. Improvável	Pouco provável de ocorrer, embora possa comprometer o processo
1. Raro	Difícilmente ocorrerá durante o processo

Tabela 3.7-2 Descrição do impacto associado ao risco

Impacto	Descrição
4. Alto	Impacta gravemente a qualidade do processo, inviabilizando o produto (custos com FNC's)
3. Moderado	Impacta significativamente a qualidade do processo, gerando não conformidades e/ou reclamações
2. Baixo	Impacto pouco significativo na qualidade do processo, não conformidades recuperáveis
1. Irrelevante	Não impacta a qualidade do processo

A necessidade da construção desta matriz, surge do panorama atual vivido na indústria aeronáutica e no mundo, onde devido à pandemia as mesmas viram-se com as finanças afetadas. Esta situação implica que, neste momento, todas as melhorias que se possam implementar num programa produtivo e/ou processo tenham de ser avaliadas e geridas por necessidades, pois todas elas envolvem custos.

Desta forma foi construída a Tabela 3.7-3 de classificação do risco:

Tabela 3.7-3 Classificação do Risco

Classificação do Risco				
Probabilidade	Impacto			
	1. Irrelevante	2. Baixo	3. Moderado	4. Alto
4. Muito Frequente	4	8	12	16
3. Pouco Frequente	3	6	9	12
2. Improvável	2	4	6	8
1. Raro	1	2	3	4

Tendo como base a classificação de risco definida, definiu-se a gestão a efetuar para a implementação das melhorias que forem propostas ao longo deste capítulo (Tabela 3.7-4).

Tabela 3.7-4 Gestão de Implementação de Melhorias

Grau de Risco	Prioridade de Implementação de Melhorias
1-2	Não é necessário a implementação de melhorias ao processo
3-4	Será aceitável ponderar a implementação de melhorias ao processo a longo-prazo
6-8	Deve ser pensada a implementação de melhorias ao processo a curto-médio prazo
9-12	Devem ser implementadas melhorias ao processo
13-16	Devem ser implementadas de imediato melhorias ao processo

Assim sendo, foi realizada uma avaliação simplificada do risco para o produto, tendo em conta todas as causas identificadas pela análise do Diagrama de *Ishikawa* (Figura 3.7-1), chegando-se aos resultados da Tabela 3.7-5.

Tabela 3.7-5 Avaliação Simplificada de Risco para o Produto

<i>Efeito</i>	<i>Causa</i>	<i>Prob. Ocorrência</i>	<i>Impacto Produto</i>	<i>Risco Produto</i>
<i>Flushness Out of Tolerance</i>	Método de Inspeção Exaustivo	2	2	4
	Bancada Subconjuntos Pouco Robusta	4	4	16
	Experiência dos Operadores	2	4	8
	Não Cumprimento das Instruções de Trabalho	2	4	8
	Limpeza das Ferramentas de Corte não é efetuada	3	3	9
	Desgaste das Ferramentas	3	4	12
	Falta de Controlo das Ferramentas de Furação	3	4	12
	Tambor Suporte Micrométrico	2	4	8
	Falta de Berbequim Pistola	2	2	4
	Desgaste do Limitador de Teflon do Suporte Micrométrico	3	4	12
	Fiabilidade do Comparador Utilizado	2	3	6

Considera-se que cada causa, apesar de originarem o mesmo defeito, têm um impacto no produto diferente e foi com esta base que se construiu a tabela acima. Isto deve-se ao facto que, por exemplo, uma fresa danificada tem um impacto maior no produto aquando da realização de um escareado, podendo danificá-lo, comparativamente a um método de inspeção exaustivo que irá sempre depender do inspetor que o realize.

Após identificadas as causas acima e se ter realizado a avaliação de risco de cada uma delas, pretende-se agora investigar e propor melhorias capazes de as mitigar. Estas melhorias têm como objetivo aumentar a qualidade do produto e reduzir os riscos associados ao tipo de não conformidade analisado neste projeto.

Capítulo 4

Análise Geral dos Resultados

Após o tratamento dos dados recolhidos e da análise do processo ter sido realizada, procurou-se analisar estes mesmos dados, sintetizar os mesmos, de forma a retirar algumas conclusões que permitissem auxiliar na tomada de decisão e na proposta de melhorias a ser realizada. Neste sentido foi analisada a não qualidade global apresentada neste programa produtivo ao longo dos anos de 2018 e 2019, entre reclamações de cliente e não conformidades internas, e ainda o processo de furação com escareado e todos os elementos à sua volta.

4.1. Reclamações de Cliente e Não Conformidades

Foram analisadas todas as não conformidades relacionadas com o defeito em estudo, *flushness* fora de tolerância, ao nível das reclamações de cliente e das não conformidades internas, detetadas durante o controlo de qualidade interno, considerando os anos de 2018 e 2019, assim como o processo em estudo. Pretende-se agora analisar os dados apresentados nos capítulos anteriores.

Após a análise efetuada às reclamações de cliente, foi possível observar a preponderância do conjunto superior esquerdo (LH) que contabilizou 24 reclamações, já o conjunto superior direito (RH) contabilizou 9. De notar ainda que para ambos os conjuntos superiores, o subconjunto 2 foi sempre o mais afetado por este defeito. Ainda que com estes dados, não foi possível concluir algo acerca da origem do defeito.

Nesse sentido e de forma a melhorar a análise, foram tidas em conta as não conformidades internas, sendo esta relação posteriormente representada na Figura 4.1-1. A tendência manteve-se e o conjunto superior esquerdo (LH) contabilizou 207 rebites ou parafusos detetados fora de especificação, contrastando com os 89 rebites ou parafusos fora de especificação do conjunto superior direito (RH). Para ambos, o subconjunto 2 continuou como o mais afetado.

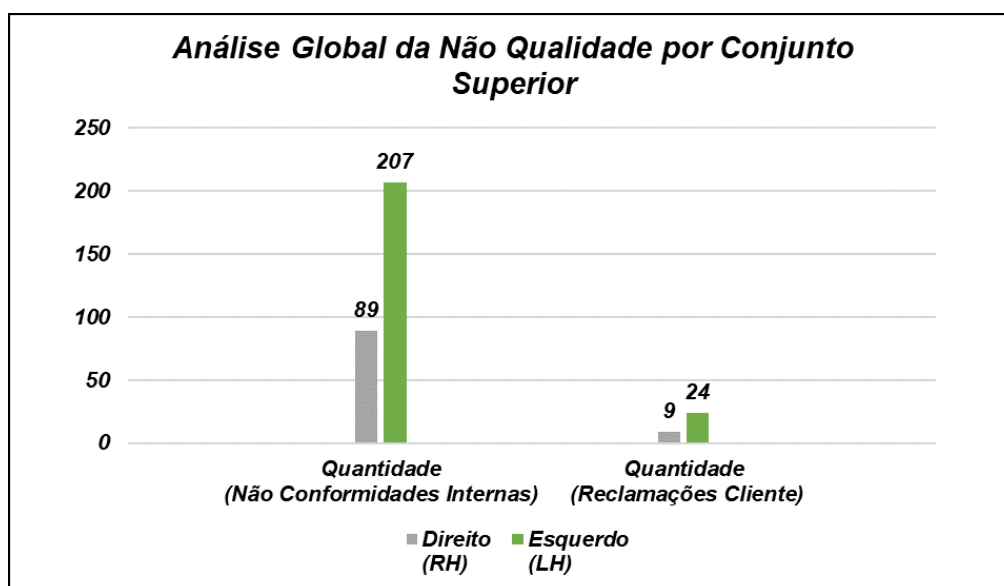


Figura 4.1-1 Análise Global da Não Qualidade por Conjunto Superior

Concluindo, tanto o conjunto superior esquerdo (LH), como o subconjunto 2 são os que conduzem a mais rebites ou parafusos fora de especificação. O facto de ser o conjunto superior esquerdo (LH) é justificável por ser o posto de trabalho com maior rotatividade de operadores durante este período, sendo que nestas trocas a passagem de informação relevante ao nível do produto e dos processos não é passada ao novo operador na qualidade certa. Não foi possível concluir sobre o facto do subconjunto

2 também ele ser o mais afetado pelo defeito, pelo que se continuou com a análise de forma a tentar compreender este efeito.

Com o objetivo de detalhar a análise efetuada e identificar variações ao nível do defeito reportado, *acima da tolerância* ou *abaixo da tolerância* e ainda alguma área ou áreas mais afetadas, foi efetuada uma análise aprofundada às reclamações de cliente e às não conformidades internas (Figura 4.1-2).

Assim sendo, tanto nas reclamações de cliente como nas não conformidades internas o tipo de defeito mais identificado pelo cliente e pelo controlo de qualidade, respetivamente, foram rebites ou parafusos *acima da tolerância*, contabilizando 57 e 153 respetivamente. Por outro lado, foram contabilizados 3 e 134 rebites ou parafusos *abaixo da tolerância*, entre reclamações de cliente e não conformidades internas respetivamente.

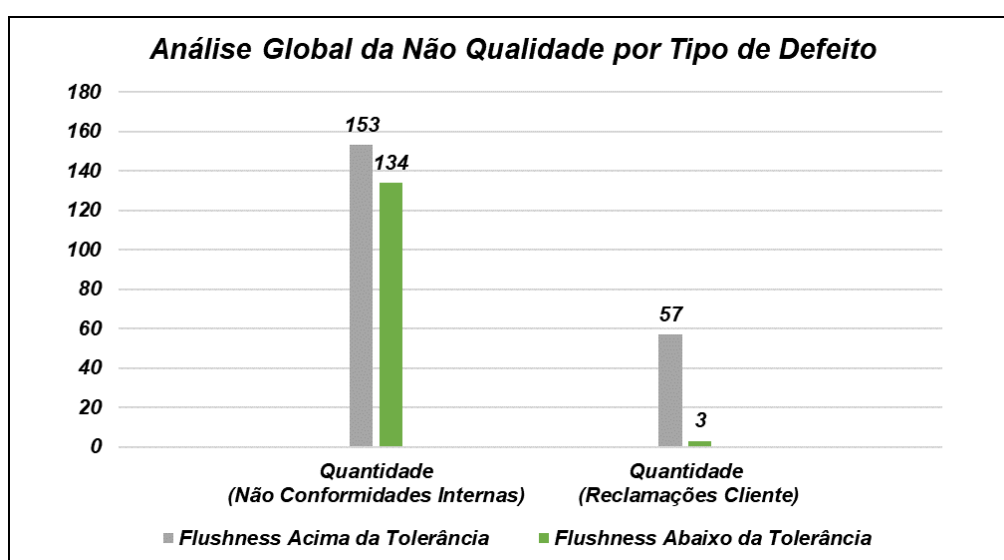


Figura 4.1-2 Análise Global da Não Qualidade por Tipo de Defeito

A ocorrência deste tipo de defeito dá-se pela má preparação e afinação do tambor do suporte micrométrico das fresas de escarear, situação constatada na análise ao processo efetuada no capítulo 3.7, o que faz também variar o tipo de defeito (*acima da tolerância* ou *abaixo da tolerância*). Também se concluiu que o procedimento explicado no capítulo 3.5 do processo de escarear, possivelmente não tem vindo a ser seguido na sua plenitude.

De seguida, foi analisado o tipo de defeito por área de subconjunto afetada, onde cada uma foi dividida como apresentado nas Figuras 4.1-3 e Figura 4.1-4 abaixo.

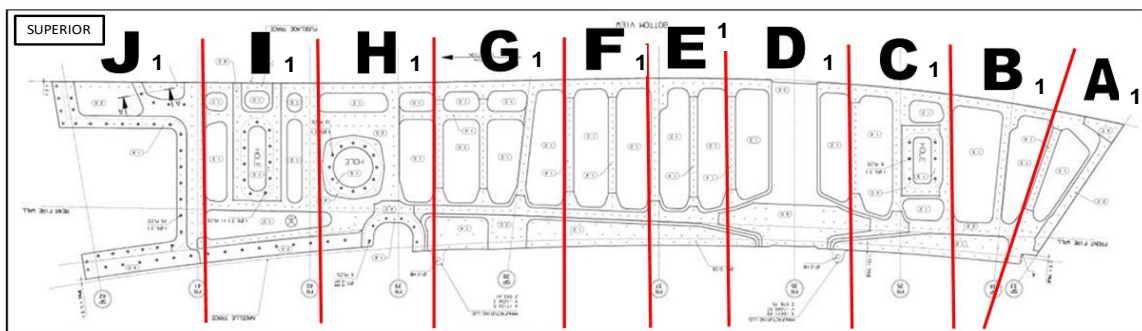


Figura 4.1-3 Divisão do subconjunto 1 em áreas de cravação

No que diz respeito ao subconjunto 1, para rebites ou parafusos *acima da tolerância* foram identificadas as áreas A_1 , I_1 e B_1 como as mais afetadas, contabilizando 63% do total dos defeitos reportados, enquanto que para rebites ou parafusos *abaixo da tolerância* foram identificadas as áreas I_1 , C_1 e G_1 como as mais afetadas, contabilizando 65% do total dos defeitos reportados.

Após esta análise, de notar que a área I_1 , que é das áreas com maior probabilidade de falha (19%) ao longo do processo produtivo do subconjunto 1, probabilidade essa calculada no capítulo 3.4 e apresentada na Tabela 3.4-5, encontra-se dentro das três áreas mais afetadas, tanto para defeitos *acima da tolerância* como *abaixo da tolerância*. Desde logo porque contém o maior número de elementos 324 (Tabela 3.4-3), que corresponde também à fresa mais solicitada ao longo do processo produtivo que por sua vez terá maior desgaste.

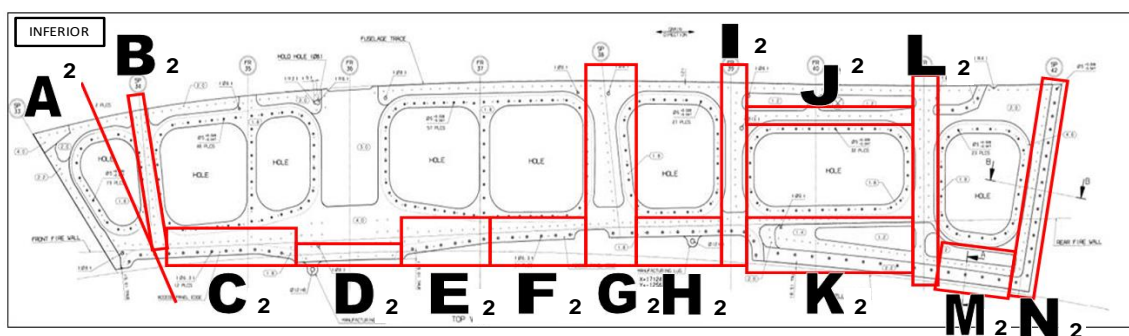


Figura 4.1-4 Divisão do subconjunto 2 em áreas de cravação

No que diz respeito ao subconjunto 2, para rebites ou parafusos *acima da tolerância* foram identificadas as áreas A_2 , K_2 e B_2 como as mais afetadas, contabilizando 59% do total dos defeitos reportados, enquanto que para rebites ou parafusos *abaixo da tolerância* foram identificadas as áreas K_2 , J_2 e N_2 como as mais afetadas, contabilizando 67% do total dos defeitos reportados.

De ressaltar que a área K_2 , que é também ela a área com maior probabilidade de falha (22%) ao longo do processo produtivo do subconjunto 2, probabilidade essa calculada também no capítulo 3.4 e apresentada na Tabela 3.4-6, encontra-se dentro das três áreas mais afetadas, tanto para defeitos acima da tolerância como abaixo da tolerância. Desde logo porque contém o maior número de elementos de nomenclatura 324 (Tabela 3.4-4), que corresponde mais uma vez à fresa mais solicitada ao longo do processo produtivo.

Numa análise geral a ambos os subconjuntos, é importante referir que as espessuras em todas as zonas acima identificadas, quer seja para o subconjunto 1 ou para o subconjunto 2, são exatamente as mesmas, pelo que se nota que a variação do tipo de falha (*acima da tolerância* ou *abaixo da tolerância*), em nada é influenciado por este fator.

4.2. Processo de Escarear

Pela análise realizada ao processo, foram identificadas diversas lacunas e oportunidades de melhoria no mesmo, desde logo no processo de escarear, à gestão da manutenção da ferramentaria utilizada durante o mesmo e ainda no acompanhamento efetuado a novos operadores da linha de produção.

No que diz respeito às ferramentas de corte e desbaste utilizadas pelos operadores, nomeadamente na operação de escarear, notou-se uma falta de controlo das mesmas ao nível da limpeza, desgaste e fraturas. Os operadores não validam a condição da ferramenta antes de iniciarem com os trabalhos, nomeadamente se as mesmas se encontram danificadas e/ou com danos nas arestas de corte ou com restos de limalhas. Esta situação influencia fortemente o processo de escarear, já que uma aresta danificada influencia o aspeto visual do escareado podendo levar à sua rejeição. Por outro lado, os restos de limalhas podem fazer variar a profundidade pretendida do escareado, pois criam uma sobre espessura no batente do suporte micrométrico.

Será benéfico criar um sistema de manutenção destas ferramentas de corte e desbaste, a fim de melhorar o processo e consciencializar os operadores para o cuidado que devem ter com as mesmas.

Em relação ao fluxo produtivo, aos elementos auxiliares à produção, a bancada de apoio à cravação dos subconjuntos 1 e 2, descrita no capítulo anterior, encontra-se pouco robusta. A mesma permite movimento de flexão aquando da furação, o que não vai de encontro à realidade do que se pretende, pois, a afinação dos escareados realizada nos suportes micrométricos no corpo de prova, é realizada com este fixo de movimentos e neste caso a flexão do subconjunto aquando da furação pode fazer variar em profundidade o escareado.

Deve ser encontrada alguma forma de tentar evitar este movimento para permitir ao máximo que o processo de escarear nos subconjuntos seja idêntico ao de escarear no corpo de prova, procurando desta forma a conformidade dos escareados.

Por outro lado, constatou-se que a tarefa do controlo de qualidade, nomeadamente do inspetor, é algo exaustivo, pois tem um horário estabelecido de 8 horas para controlar 712 rebites e parafusos com

um comparador, função essa exige esforço mental do inspetor e que é propícia à fadiga do mesmo. Foi também verificado que o comparador utilizado nas medições necessita de algum cuidado, pois encontra-se dentro do período de calibração definido pela área de metrologia e no relatório dimensional do mesmo, mas apesar disso a sua mola encontra-se pouco tensa, situação que faz variar em algumas situações, 1 ou 2 centésimas o valor da medição.

Será necessário proceder à sua manutenção ou substituição e ainda encontrar alguma forma para diminuir o tempo total de inspeção, promovendo o bem-estar do inspetor e mantendo a eficácia que é exigida nesta função.

Por fim, constatou-se que tem ocorrido alguma rotatividade ao nível dos operadores da linha de produção e que não tem sido bem preparada pela equipa responsável pelo programa. Esta rotatividade tem influenciado no aumento das não conformidades detetadas, por exemplo no conjunto superior esquerdo (LH), onde tem ocorrido maior rotatividade de operadores, nomeadamente um por baixa prolongada e outro por saída da empresa.

Uma ação de componente mais teórica e de tutoria para com os novos operadores seria importante de forma a garantir a continuidade dos trabalhos e acima de tudo a qualidade do produto, pois quem entra não conhece a realidade do programa produtivo nem os requisitos do cliente ao nível do processo.

Pode-se concluir que as variáveis analisadas neste capítulo têm potencial para afetar de igual modo ambos os subconjuntos e ambos os conjuntos superiores na ocorrência desta não conformidade, pelo que não se encontrou uma causa específica que justifique a maior ocorrência de defeitos no conjunto superior esquerdo.

Eventualmente, outras variáveis podem afetar estes resultados e esta análise, nomeadamente a posição do operador ou o tipo de fresas, mas não foram analisadas em detalhe pelo que não são conclusivas.

Capítulo 5

Propostas de melhoria

Tendo em consideração as causas acima identificadas para a ocorrência do defeito analisado e análise geral dos dados realizada, irão ser mostradas abaixo as melhorias pensadas, sendo que algumas delas servem de solução para mais que uma causa. Pretende-se entregar um conjunto de propostas de melhoria à organização que reduzam a probabilidade de ocorrência do defeito em causa, ajudando desta forma a elevar a qualidade do produto.

5.1. Checklist de Manutenção Produtiva Total

Em resumo, pretende-se entrar no campo da manutenção preventiva das ferramentas de corte utilizadas na linha de produção, isto é, evoluir para uma ferramenta TPM (Manutenção Produtiva Total), que segundo (Cooke, 2000), permite desde logo:

- Envolver toda a gente ligada a um determinado processo produtivo no objetivo de aumentar a qualidade dos produtos fabricados;
- Puxar pelo trabalho em equipa e pelo aumento da responsabilidade de cada um para com o produto e as ferramentas que utiliza;
- Desenvolver a filosofia da melhoria contínua de cada um envolvendo todos no conceito zero defeitos.

Desta forma, elaborou-se uma *checklist* (Anexo III), de verificação diária na tomada de posto e no fim do dia produtivo, onde serão realizadas ações de verificação ferramental, onde serão controladas as fresas utilizadas no fluxo produtivo, sendo que as fresas utilizadas nas áreas com maior taxa de incidência de não conformidades, terão um controlo mais apertado. Para isto irá ser utilizada toda a análise efetuada no capítulo 3.5 de tratamento de dados.

Nesta, os operadores terão que, na tomada de posto, verificar:

- Verificar ausência de limalhas nas fresas de escarear antes de iniciar os trabalhos;
- Verificar a limpeza dos suportes micrométricos;
- Afinar suportes micrométricos no corpo de prova e efetuar marcação com *torque seal*.

O *torque seal* é um elemento indicativo colorido utilizado em sistemas de fixação com torque, tais como um par parafuso/porca, com a função de indicar se este mesmo sistema se deslocou do sítio correto. Isto acelera o tempo de inspeção e verificação do conjunto, que para o presente caso prático será o ajuste da tranca do suporte micrométrico, avisando o operador que o suporte micrométrico desafinou. Caso durante as furações este sistema se desloque, o *torque seal* é frágil o suficiente para rachar, como no exemplo da Figura 5.1-1.



Figura 5.1-1 Exemplo de aplicação do torque seal no suporte micrométrico

Com a informação retirada na análise aos defeitos reportados por subconjunto e por elemento, constatou-se que as fresas dos elementos 322, 324, 903-08 e 1154-57 são as mais utilizadas nos dois subconjuntos e, por sua vez, correspondem às zonas mais afetadas em cada um deles. Esta relação também é justificada com a probabilidade de falha calculada nas Tabela 3.4-5 e Tabela 3.4-6, para cada uma das áreas de cada elemento.

Como tal, de forma a controlar todas as fresas utilizadas e mais concretamente as mais solicitadas, definiram-se 8 ações de inspeção e limpeza a efetuar no fim do turno:

- Efetuar limpeza das fresas de escarear;
- Verificar a fresa de escarear e o seu piloto;
- Verificar a limpeza e o desgaste do limitador de teflon do suporte micrométrico;
- Verificar o *torque seal* dado aos suportes micrométricos;
- Verificar limpeza e desgaste da fresa de referência 322;
- Verificar limpeza e desgaste da fresa de referência 324;
- Verificar limpeza e desgaste da fresa de referência 903-08;
- Verificar limpeza e desgaste da fresa de referência 1154-57.

O objetivo é que cada operador, na sequência que o monitor da linha defina, efetue o preenchimento da *checklist* no início do turno e no fim do turno. Nesta verificação diária, o operador irá identificar à frente de cada ação se encontrou ou não alguma anomalia de acordo a simbologia definida para o efeito. Irá colocar uma etiqueta vermelha no artigo em que identificar a anomalia e descrever a mesma numa tabela criada para o efeito. No fim do turno, esta verificação irá ser validada pelo monitor da linha e posteriormente pelo supervisor de produção do programa.

A eficácia de implementação da mesma irá ser seguida num ponto das reuniões diárias que ocorrem durante a manhã, onde se abordam temas como o avanço da produção, problemas existentes na linha de produção, entre outros. Nesta reunião, participa o monitor e supervisor do programa, o Engenheiro de Qualidade do produto e o Engenheiro de processo.

5.2. Batentes de Fixação dos Subconjuntos nas Bancadas

Como apresentado no capítulo 3.7, as bancadas dos subconjuntos permitem a flexão dos mesmos durante a furação. Esta situação pode influenciar o resultado do escareado, pois permite movimento até do próprio berbequim pistola aquando da operação.

Procedeu-se à representação aproximada do conjunto bancada e subconjunto no software CAD (*Computed Aided Design*), designado por CATIA, de forma a recriar a linha de produção (Figura 5.2-1). Este software CAD, permite desenvolver um produto através do computador, de forma a poder observá-lo de uma forma realista, mesmo antes de ser produzido, de forma a permitir analisá-lo ou modificá-lo, a qualquer altura do processo.

O subconjunto fica apoiado pela sua base na bancada, sendo esta a única barreira de movimento (vertical). A bancada está representada apenas com 4 apoios de cada lado que evitam o movimento transversal do elemento para ser de mais fácil compreensão, pois a bancada real contém 8 apoios.

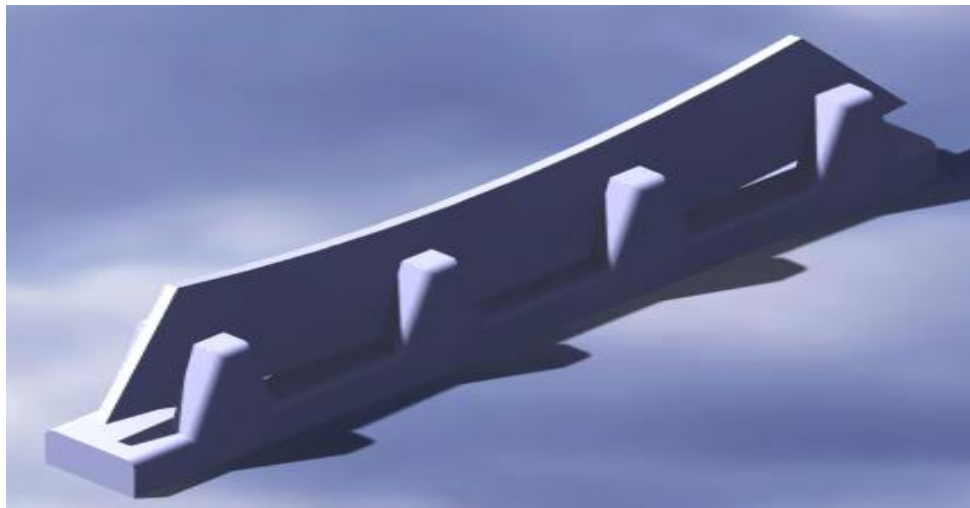


Figura 5.2-1 Representação em software CAD do subconjunto na bancada de montagem

Para reduzir o movimento de flexão do elemento aquando da furação, idealizou-se aplicar no topo de cada apoio da bancada, uns batentes, que seriam colocados após a colocação do subconjunto na bancada. Estes batentes iriam reduzir em 80% o movimento de flexão do elemento durante os trabalhos de furação.

Para tal, pretende-se incluir no topo de cada apoio, elementos retangulares fixos, com dimensões de 20 x 10 x 13 mm, que servirão de elementos de encaixe para os batentes das bancadas. Estes elementos irão ser fixos por parafusos de cabeça escareada, sendo que o elemento já foi desenhado e sobredimensionado a contar com a altura da cabeça do parafuso de fixação (Figura 5.2-2-1). Estes

elementos irão bloquear o movimento transversal e longitudinal do batente, que por sua vez bloqueia a flexão do subconjunto aquando da furação.

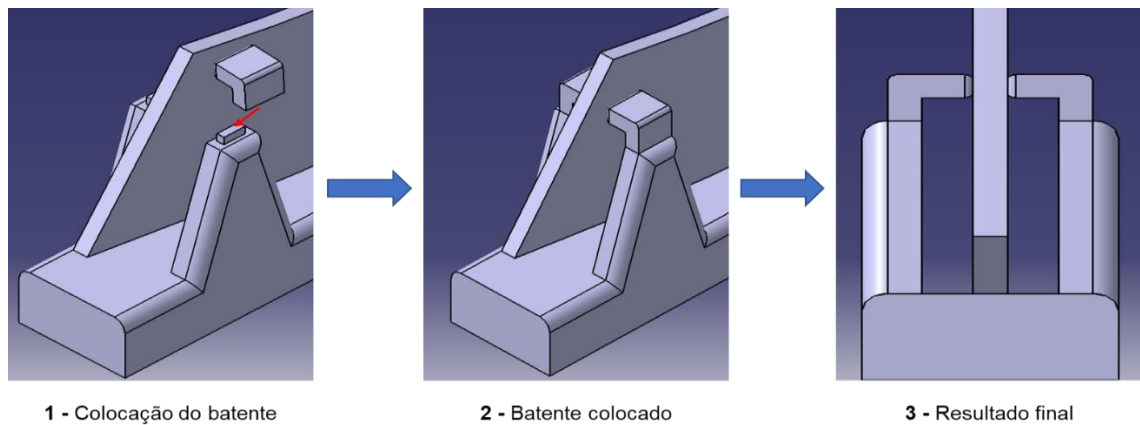


Figura 5.2-2 Implementação do batente na bancada de subconjuntos

O resultado esperado da implementação dos batentes nas bancadas é o mostrado na Figura 5.2-2, onde se teria o subconjunto mais fixo e com o seu movimento transversal reduzido em 80%, se tivermos em conta os 16 batentes que são necessários para cada bancada.

Pretende-se que tanto os elementos fixos como os batentes, sejam fabricados em material Nylon 66 (Figura 5.2-3), pois estes elementos não irão sofrer desgaste nem forças tais que exijam outro tipo de material, tais como alumínio ou ferro. A escolha deste material recai nas suas diversas aplicações ao nível de engenharia e nas suas propriedades tribológicas que se adequam a este caso particular, nomeadamente (Guglani & Gupta, 2018):

- Elevada resistência e rigidez;
- Resistência à abrasão;
- Baixo coeficiente de fricção.

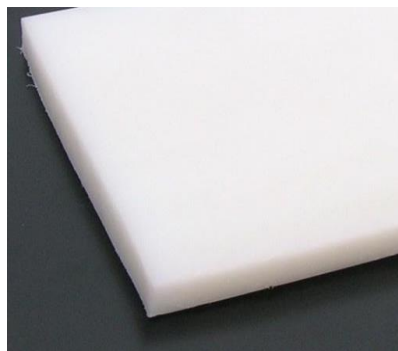


Figura 5.2-3 Placa de Nylon 66

Desta forma reduz-se o custo de implementação desta melhoria para a organização, que pode aproveitar o facto de possuir a sua própria área de carpintaria para fabricar estes elementos.

Os batentes seriam construídos de acordo o desenho cotado apresentado no Anexo IV. Pretende-se que no final, o elemento fique menos flexível durante o processo produtivo, evitando assim movimento excessivo da fresa de escarear durante o processo, sendo que o esperado é o conjunto representado na Figura 5.2-4.

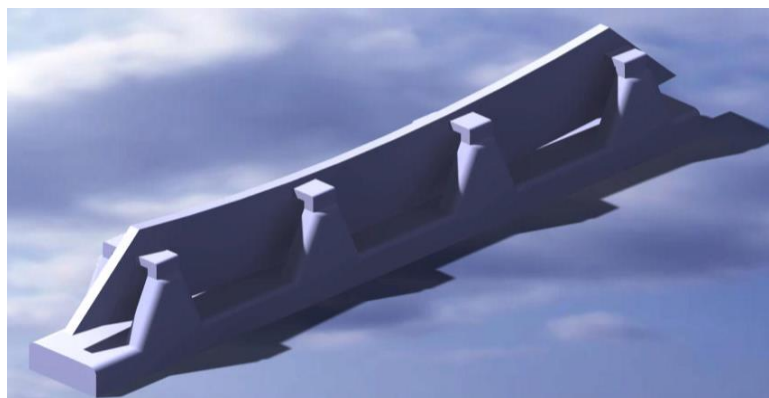


Figura 5.2-4 Resultado esperada após implementação dos batentes nas bancadas

5.3. Conceito *Quick Lesson*

A rotatividade entre equipas é um tema presente em qualquer organização, tema esse que por muito robusta que seja essa mesma organização, nunca esta completamente fora de órbita, muito por questões que não estão no controlo da organização, tais como a motivação do operador, acidentes trabalho e/ou aumento de produção que justifique um aumento de mão-de-obra.

Abordando mais concretamente a situação vivida dentro deste programa produtivo, tem-se notado alguma rotatividade e fraca qualidade da passagem do trabalho para quem chega e encara com o produto e os processos produtivos.

Para evitar esta situação e, posicionando-me na minha função que é a garantia da qualidade do produto e cumprimento dos requisitos do cliente, pretende-se criar uma dinâmica de partilha de conhecimento entre o responsável de qualidade de cada programa, com quem chega de novo à equipa de produção.

Desta forma, irá ser criada uma apresentação generalizada do programa produtivo, com os conceitos mais importantes a ter em conta, fluxo produtivo, problemas mais evidenciados até à data, entre outros, nomeadamente:

- Dar a conhecer o produto e a sua aplicabilidade. Desta forma pretende-se contextualizar o operador e aumentar os seus níveis de responsabilidade perante o produto;
- Mostrar o fluxo produtivo, as suas variadas estações e todos os seus intervenientes;
- Partilha do sistema de Manutenção Preventiva das ferramentas de corte e desgaste do programa e da importância do cumprimento do mesmo;
- Requisitos de qualidade do cliente para com o produto, tais como defeitos cosméticos admissíveis ou não (riscos e marcas). Desta forma acaba-se por dar capacidade ao operador de avaliar qualquer risco e/ou marca que o mesmo cause ou identifique durante o processo produtivo;
- Tolerâncias admissíveis do produto, em cada subconjunto (Tabela 3.4-7 e Figura 3.4-9 respetivamente);
- Demonstração do processo de escarear e da importância do cumprimento do mesmo, nomeadamente do teste e afinação do suporte micrométrico no corpo de prova;
- Indicadores do estado do programa produtivo até à data, nomeadamente: taxa de sucata, número de reclamações e número de anomalias detetadas na linha de produção, quer pelo controlo de qualidade quer pela própria produção. Com isto pretende-se que o operador fique consciente do status do programa e com a intenção de o manter e/ou melhorar.

Em paralelo, e tal como já acontece sempre que chega um novo operador à equipa de produção, o monitor da equipa destaca um membro mais experiente para supervisionar os trabalhos efetuados pelo mesmo, dependendo da secção que este for integrar. Mas acontece que não existe propriamente um tempo definido para este trabalho e como tal pretende-se definir uma duração de 3 meses até se considerar que o operador se encontra capaz de autonomamente desempenhar as suas funções.

A apresentação será construída com os pontos apresentados acima e apresentada numa sessão entre 30 minutos e 1 hora, com tempo para questões no final. Pretende-se após a primeira semana de trabalhos reunir com o monitor e o novo colaborador à procura de questões que o mesmo tenha tido, de forma a avaliar a eficácia deste tipo de conceito, nomeadamente na ajuda que as informações partilhadas trouxeram ao mesmo na sua primeira experiência.

A partir da semana de avaliação do conceito, mensalmente será marcado um ponto para avaliar o operador na sua componente prática, isto é, estará presente o tutor do mesmo e o monitor da equipa, para em conjunto com o Engenheiro de Qualidade do programa, avaliarem as dificuldades demonstradas ou não pelo novo operador e o impacto, positivo ou não, que este teve nos indicadores de qualidade do programa, ao nível das não conformidades detetadas pelo controlo de qualidade oriundas da sua secção, do número de defeitos criados ou não pelo mesmo e ainda o nível de sucata que originou.

Os resultados, a verificarem-se positivos ao fim do período de supervisão, considera-se que o operador fica capaz de trabalhar autonomamente na sua função. Caso se note dificuldades de habituação do mesmo à função e/ou que os resultados não estão a ir de encontro ao esperado, isto é, efetue muitos defeitos no produto e tenha contribuído para o decréscimo dos índices de qualidade do programa, continuará sob supervisão até mostrar ser capaz e poderá mesmo trocar de secção.

5.4. Calibre Passa – Não Passa

Após a análise efetuada ao processo no capítulo 3.7, nomeadamente ao instrumento de medição utilizado, irá ser solicitado a manutenção e/ou substituição do comparador utilizado no controlo de qualidade, sendo uma das causas identificadas durante esta análise através do diagrama de Ishikawa.

A organização mostrou necessitar de uma solução que permitisse de alguma forma reduzir o tempo de inspeção do controlo de qualidade que atualmente se situa nas 8 horas, sem nunca comprometer o processo e a conformidade do produto. A tarefa do controlo de qualidade, nomeadamente do inspetor de qualidade, é bastante exaustiva e com grande probabilidade de falha, muito devido à fadiga e ao esforço que é exigido ao próprio durante a avaliação da conformidade de cada um dos elementos aplicados nos subconjuntos.

Sendo assim e mais uma vez através do software CAD CATIA, desenhou-se um equipamento auxiliar capaz de detetar elementos acima da tolerância, estando o mesmo representado e dimensionado para registo no Anexo V.

Procedeu-se ao fabrico do protótipo de calibre para validação de conceito (Figura 5.4-1), através do processo de fabrico aditivo, isto é, impressão 3D, numa máquina de referência *ANYCUBIC i3 Mega*, com resolução máxima entre camadas de 0.05mm.

Este processo é cada vez mais vantajoso de utilizar e que a Indústria 4.0 trouxe com ainda mais força, devido às suas vantagens em relação aos outros processos mais convencionais. Desde logo porque reduz sensivelmente em 40% os índices de desperdício de material, permite o fabrico de elementos com geometrias mais complexas e ainda permite a personalização ao gosto do cliente (Berman, 2012).

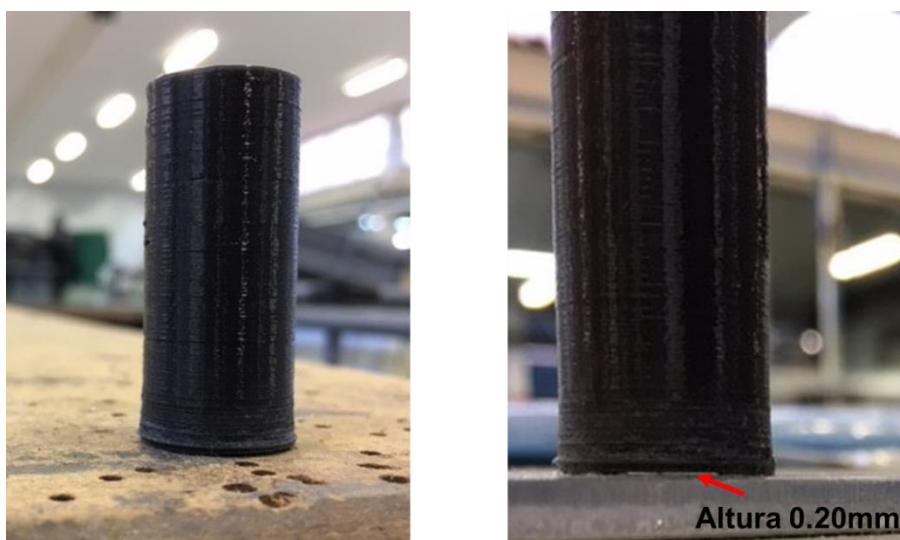


Figura 5.4-1 Calibre passa - não passa fabricado em impressão 3D

Cada elemento funcionará como um calibre passa - não passa, sendo que o objetivo é passar o elemento na superfície superior do rebite ou parafuso e, se existir oposição ou entrave ao movimento, é porque o elemento tem uma grande probabilidade de estar acima da tolerância. Em caso de dúvida o inspetor de qualidade deve obviamente ter de verificar através do uso do comparador, mas desta forma torna-se possível reduzir o tempo total de inspeção.

A razão para apenas ser proposto uma melhoria para a inspeção de elementos acima da tolerância, é porque é bastante visível a olho nu, observar os elementos que se encontram abaixo da tolerância, sendo que mais uma vez se ressalva que este calibre não dispensa a utilização do comparador, apenas serve para detetar mais rapidamente elementos acima da tolerância.

Após o fabrico do protótipo, foi avaliada e validada a sua funcionalidade, sendo que para o teste foi apenas considerada a área abrangida pela tolerância máxima admissível para o *flushness* de 0.20mm. Assim, foi efetuado o primeiro teste num conjunto superior que se situava em fase final de inspeção, sendo que como exemplo, através do calibre se detetou, embora com ligeira dificuldade, um elemento 3 centésimas acima da tolerância (Figura 4.2-5), medida essa tirada com o auxílio do comparador.

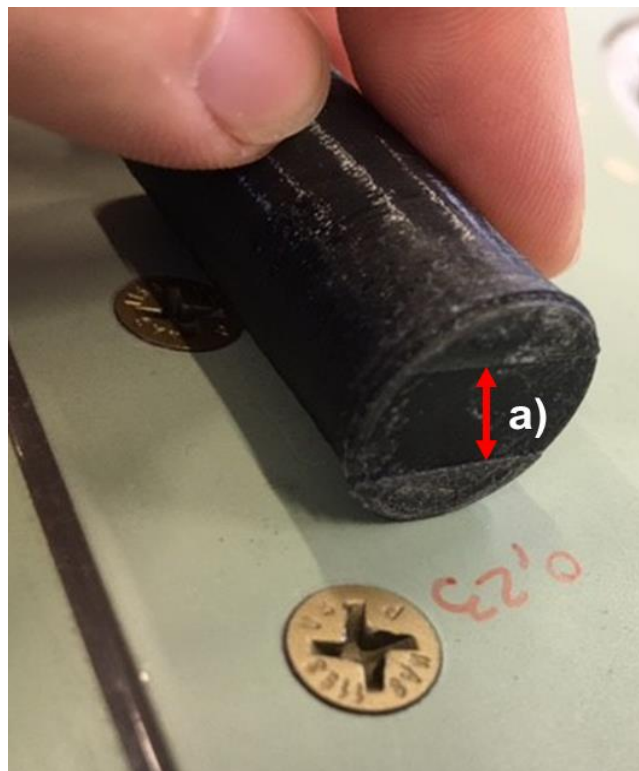


Figura 5.4-2 Avaliação do *flushness* com o auxílio do calibre passa - não passa fabricado em impressão 3D

Aquando da inspeção com o calibre, ocorreu alguma interferência entre o mesmo e o parafuso representado na figura acima, o que indicou possivelmente estava acima da tolerância. Esta situação foi realmente confirmada após o inspetor de qualidade efetuar a medição com o comparador e retirar a medida mencionada acima de 0,23mm, isto é, 3 centésimas acima do valor máximo admissível.

Embora se possa validar o conceito apresentado, notou-se que o material escolhido para o protótipo não poderá ser escolhido como material definitivo, isto porque o seu acabamento demonstra alguma rugosidade que compromete a superfície do subconjunto e ainda a própria medição. Esta rugosidade faz com que o elemento esteja mais propenso ao desgaste rápido o que certamente iria comprometer futuras medições.

Aquando do teste, notou-se ainda que apesar da boa resolução que a máquina de impressão 3D apresenta entre camadas de filamento, devido à reduzida tolerância que se está a estudar, o elemento mostrava fragilidades nos cantos do rasgo por onde passam os elementos, zona identificada como “a)” na figura 5.4-2, o que poderá induzir em erro o responsável de qualidade aquando da medição.

Desta forma, foi procurado um material que correspondesse às necessidades da tarefa e que fizesse face às dificuldades apresentadas acima, sendo que foi escolhido o mesmo material proposto para o fabrico dos batentes, o Nylon 66, pelas razões apresentadas no capítulo 5.2, nomeadamente a sua baixa rugosidade e coeficiente de fricção, que possibilitaram efetuar uma verificação mais fidedigna e sem entraves no movimento.

Procedeu-se ao fabrico do calibre no material escolhido através do um torno mecânico, onde foi torneado o varão de Nylon 66 para o diâmetro pretendido de 18mm, facejado nas faces garantido o comprimento pretendido de 40mm e efetuado um rasgo de 0,19mm para verificar o *flushness* dos elementos. O facto de o rasgo ter uma medida inferior à tolerância a controlar, é para garantir com maior certeza que deteta elementos acima da tolerância, como um elemento a 0,21mm. Chegou-se desta forma ao resultado apresentado na Figura 5.4-3.



Figura 5.4-3 Calibre passa - não passa fabricado em Nylon 66

Após o fabrico do calibre, foi novamente avaliada a sua funcionalidade, no mesmo elemento testado para o protótipo fabricado em impressão 3D, sendo que a melhoria verificada foi bastante significativa comparativamente à verificação anterior. O calibre não oferece nenhuma resistência à superfície do subconjunto e aquando da passagem por cima do elemento, trava, verificando que o mesmo se encontra acima da tolerância (Figura 5.4-4).

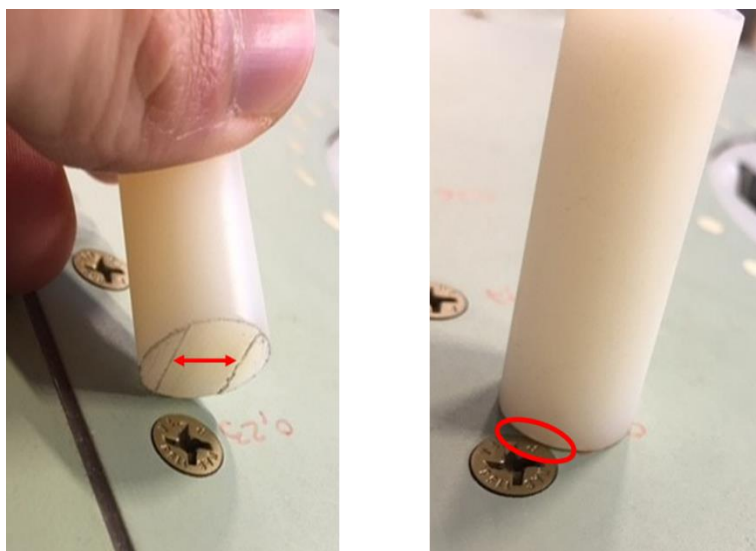


Figura 5.4-4 Avaliação do flushness com o auxílio do calibre passa - não passa fabricado em Nylon

66

Para o fabrico dos restantes calibres das tolerâncias de 0.10mm e 0.15mm propostos à organização, tendo em conta as tolerâncias dimensionais e a parte funcional do processo, seria benéfico que fossem fabricados no mesmo material, pelas vantagens acima apresentadas.

Do ponto de vista da qualidade, será importante definir um plano e método de calibração para estes calibres. Como tal, foi projetado um suporte de calibração de acordo o anexo VI, e produzido com o mesmo material do calibre (Figura 5.4-5). A ideia é que este seja o negativo do calibre, isto é, possuir o mesmo rasgo que o calibre para que se possam encaixar, pois é desta forma que será realizada a calibração.

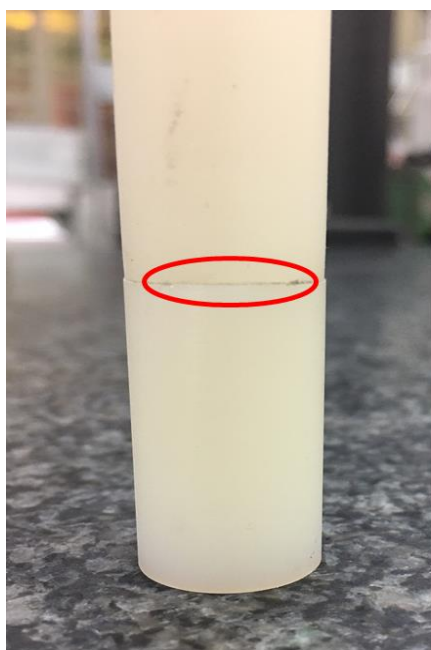


Figura 5.4-5 Suporte de calibração fabricado em Nylon 66

A ideia passa por posicionar o calibre na face superior do suporte de calibração, pelo rasgo onde é feita a verificação do *flushness*, e de seguida efetuar a verificação num projetor de perfis.

A escolha do projetor de perfis prende-se pelo facto de ser indicado para peças de pequenas dimensões e tolerâncias apertadas, e ainda porque projeta uma imagem ampliada da peça na tela, sendo que nela incide uma luz, que no caso prático permite avaliar se os dois elementos ainda estão em contato. Enquanto a luz não ultrapassar a barreira criada pelos dois elementos e não for possível ver na tela o rasgo interior do calibre, considera-se o calibre passa-não passa, capaz de desempenhar a função para a qual foi projetado.

Foi mais uma vez necessário testar este conceito de forma a ser proposto à organização, pelo que foram posicionados os dois elementos, calibre passa-não passa e o suporte e escolhido o projetor de perfis da área de metrologia (Figura 5.4-6).



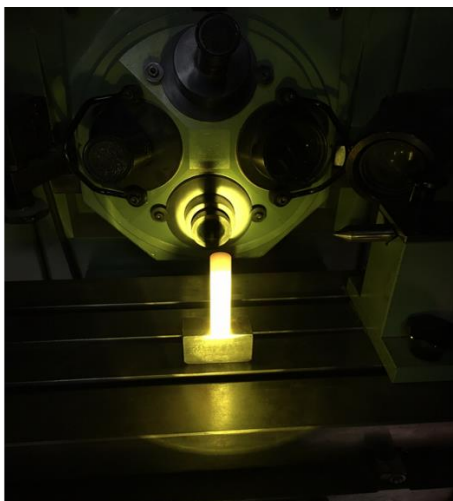
1 – Calibre e Suporte sobrepostos



2 – Projetor de Perfis

Figura 5.4-6 Sobreposição dos elementos antes da verificação no Projetor de Perfis

Após a sobreposição dos dois elementos, o conjunto foi posicionado no projetor de perfis e verificada a sua condição inicial, que observando a Figura 5.4-7, concluiu-se que encontra como pretendido, isto é, não existe passagem de luz, indicando desde logo que o calibre se encontra com o rasgo de altura 0,20mm conforme, pelo que pode ser utilizado nas superfícies dos subconjuntos com esta tolerância.



1 – Projeção de luz na zona de união dos dois elementos



2 – Imagem visualizada na tela do projetor de perfis

Figura 5.4-7 Validação do processo de calibração no projetor de perfis

Numa fase inicial, o objetivo é realizar esta calibração mensalmente de forma a garantir que cumpre com a sua função e também para avaliar o comportamento do material do calibre e de acordo o procedimento de calibração representado no Anexo VII. Pretende-se mais uma vez estender este procedimento aos restantes calibres que forem criados, isto com base no tipo de material escolhido e na sua função, que atendendo à cadência de produção, serão utilizados 12 vezes por mês.

Esta melhoria fará reduzir o tempo total de inspeção, ajudando o inspetor na sua tarefa, minimizando desta forma a probabilidade de erro do mesmo durante o controlo de qualidade.

Capítulo 6

Conclusões

São apresentadas neste capítulo as conclusões gerais retiradas com a realização deste projeto, nomeadamente de que forma foram atingidos os objetivos propostos e a metodologia utilizada, elações retiradas com as análises efetuadas e o ganho pretendido com as propostas de melhoria oferecidas à organização. Termina-se com uma síntese de perspectivas de trabalhos futuros, mostrando uma variante de inspeção de qualidade que poderia ser utilizada no elemento abordado neste projeto.

6.1. Conclusões

A gestão da qualidade dentro de uma organização continua a ser um tema que requer alguma atenção por não ser tão linear como se possa pretender. A existência de não conformidades internas e externas pode ser um problema para qualquer indústria, nomeadamente quando estas se tornam repetitivas. Além de poderem conduzir a prejuízos financeiros nas organizações, estas fazem com que a satisfação dos clientes diminua para com o produto em causa, podendo no extremo levar ao término da relação comercial entre ambos.

Para tratar este tipo de questões são utilizadas ferramentas de qualidade, utilizadas como método de identificação e resolução de problemas. Existem oportunidades de melhoria por descobrir e implementar em qualquer processo, basta para isso recolher e tratar a informação correta, de forma correta.

O objetivo deste projeto era tratar não conformidades repetitivas dentro de uma organização que nos últimos tempos, tinham vindo a causar impactos à mesma, quer ao nível de qualidade do produto que diminuiu, quer a nível financeiro com os custos da não qualidade, nomeadamente o *Flushness out of tolerance*.

Para alcançar os objetivos foi seguida uma metodologia da qualidade para a análise e resolução de problemas, com uma sequência de fases de caracterização do problema, recolha de dados e seu tratamento para aprofundamento em detalhe, descrição detalhada do processo, inventariação das potenciais causas, apoio à decisão com análise de risco destas mesmas causas, proposta de soluções e realização prática de algumas. De entre as propostas foram realizados projetos de estruturas de apoio, conceção e protótipo de equipamentos de medida assim como o seu teste e validação, com realização posterior da versão final melhorada.

Os objetivos deste projeto foram cumpridos na medida em que, foram identificadas diversas melhorias capazes de melhorar e enriquecer o processo de escarear e ao mesmo tempo, melhorias que mitiguem as não conformidades relacionadas com o mesmo. É oferecida ainda à organização uma matriz de prioridades para a implementação destas mesmas melhorias, tendo em conta que atualmente se vive um panorama pouco normal nas indústrias devido ao estado de pandemia que o mundo atravessa e que tem custado muito aos cofres das empresas. Por essa razão, considera-se que estas melhorias são de fácil implementação e de custos reduzidos.

A necessidade deste tipo de análises, é bastante importante para manter os níveis de qualidade das empresas num mercado cada vez mais competitivo, onde cada vez mais o objetivo é produzir mais, com mais qualidade e com o menor custo associado.

A equipa de resolução de problemas formada para identificar as causas foi determinante para os resultados obtidos. A vontade de ajudar dos próprios operadores, foi bastante fundamental na identificação de várias falhas que eles mesmo cometiam neste processo, nomeadamente por não cumprirem com as instruções de trabalho. Esta vontade, foi decerto desencadeada pela partilha dos dados analisados do tipo de defeito e os custos associados para a empresa que foram sendo

apresentados ao longo deste projeto e que por vezes não chegam à mão-de-obra direta, neste caso os operadores.

Sendo assim, espera-se com a implementação destas melhorias elevar os níveis de qualidade da organização perante o cliente, aumentar a satisfação do mesmo e internamente, reduzir os custos de não qualidade associados.

6.2. Perspectivas de trabalhos futuros

Para futuros trabalhos, seria interessante ajudar a organização analisar outros métodos de inspeção do *flushness* de todo o conjunto superior, como pelo método de scanner 3D, que apesar do seu elevado custo, reduziria o tempo total de inspeção do produto, reduzindo desta forma o *takt time* de produção de um conjunto superior, podendo a empresa desta forma aumentar a sua cadência de produção e respetivo lucro.

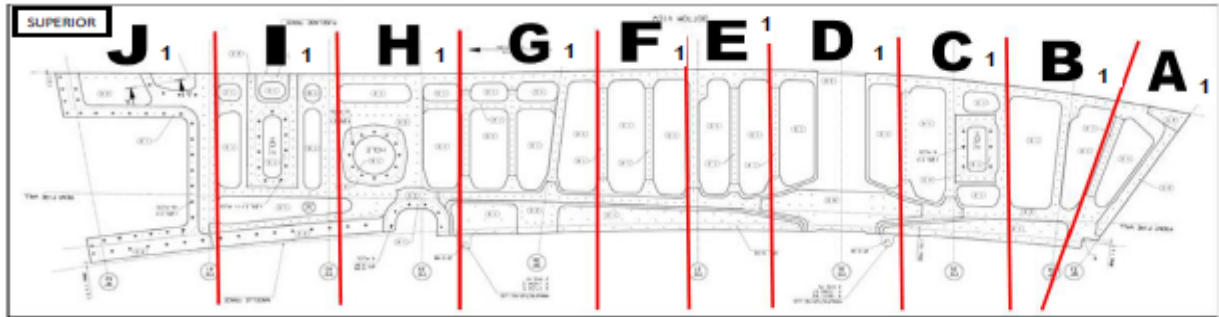
Bibliografia

- Andersen, B. and T. F. (2006). *Root Cause Analysis - Simplified Tools and Techniques* (A. S. for Quality (ed.); Second Edi). William A. Tony.
- Bar-cohen, Y., & Backes, P. (2000). Scanning Large Aerospace Structures Using Open- Architecture Crawlers. *National Space and Missile Materials Symposium, March*, 1–9.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2), 155–162.
- Boer, J., & Blaga, P. (2012). A More Efficient Production using Quality Tools and Human Resources Management. *Procedia Economics and Finance*, 3(12), 681–689.
- Cacciaguerra, B. (2017). (12) *United States Patent*. 2(12).
- Castro, P. (n.d.). Produto robusto, desenho de experiências, matriz intrínseca, matriz extrínseca, sinal-para-ruído (SN), factor-de-controlo , factor-de-sinal, parâmetro, tolerâncias. *Design*.
- Cooke, F. L. (2000). Implementing TPM in plant maintenance: Some organisational barriers. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 17(9), 1003–1016.
- Cruz, P. R. F. da. (2016). Qualidade Na Indústria Aeronáutica: Aplicação Da Ferramenta Fmea Em Um Setor De Montagem De Componentes De Motores Aeronáuticos. *XII Congresso Nacional de Excelência Em Gestão & III INOVARSE 2016*, 2–19.
- De Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 604–614.
- EN 9100 (2018). *Quality Management Systems - Requirements for Aviation, Space and Defence Organizations*. European Committee for Standardization. Brussels
- Guglani, L., & Gupta, T. C. (2018). Study of mechanical and tribological properties of nylon 66-titanium dioxide microcomposite. *Polymers for Advanced Technologies*, 29(2), 906–913.
- Hendri, N. S., Rahman, A., Bandono, A., & Suharyo, O. S. (2019). ANALYSIS OF THE MAINTENANCE SYSTEM OF WARSHIP BASED ON ISO 9000 : 2015. 10(1), 54–61.
- Humberto Mota de Siqueira, R., Capella de Oliveira, A., Riva, R., Jorge Abdalla, A., & Sérgio Fernandes de Lima, M. (2016). Comparing mechanical behaviour of aluminium welds produced by laser beam welding (LBW), friction stir welding (FSW), and riveting for aeronautical structures. *Welding International*, 30(7), 497–503.
- ISO/IEC 31010. (2018). *International standard. Risk management - Risk assessment techniques*. 31010, 92.
- Johnson, C. (1997). Reasoning about Human Error and System Failure for Accident Analysis. *Human-Computer Interaction INTERACT '97*, 1991, 331–338.
- Johnson, K. G., & Khan, M. K. (2003). A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK. *Journal of Materials Processing Technology*, 139(1-3 SPEC), 348–356.

- Juran, J. M. (1998). Section 45 Statistical Process Control. In *JURAN'S QUALITY HANDBOOK, 5th EDITION*.
- Karthi, S., Devadasan, S. R., Muruges, R., Sreenivasa, C. G., & Sivaram, N. M. (2012). Global views on integrating Six Sigma and ISO 9001 certification. *Total Quality Management and Business Excellence*, 23(3–4), 237–262.
- Karuppusami, G., & Gandhinathan, R. (2006). Pareto analysis of critical success factors of total quality management. *The TQM Magazine*, 18(4), 372–385.
- Kolus, A., Wells, R., & Neumann, P. (2018). Production quality and human factors engineering: A systematic review and theoretical framework. *Applied Ergonomics*, 73(June), 55–89.
- Kualitas, P. (2015). *Taguchi Method Taguchi Method Taguchi Method*.
- Lazur, B. I., Jagadeesh, L., Karthikeyan, B., & Shanmugaraja, M. (2013). An Initiative to Practice Total Quality Management in Aircraft Maintenance. *Advances in Aerospace Science and Applications*, 3(2), 63–68.
- Liliana, L. (2016). A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161(1).
- Lingam, Y. K. (2018). *Study on quality control tools and techniques adopted in automobile and aerospace sector*. 4(5), 832–837.
- McEvily, A. J. (2004). Failures in inspection procedures: Case studies. *Engineering Failure Analysis*, 11(2), 167–176.
- Murumkar, A., Teli, S. N., Jadhav, S., Dharmadhikari, S., & Nikam, M. (2018). Integrated Approach of Cost of Quality and Six Sigma. *Global Meet on Advances in Design, Materials & Thermal Engineering, Saraswati College of Engineering, Kharghar, Navi Mumbai, January*.
- Neris, I. T. da S., Storti, K. S., & Milan, W. W. (2019). Análise De Processos De Cadastros Utilizando a Ferramenta Fluxograma E Poka Yoke: Estudo De Caso Em Uma Empresa No Triangulo Mineiro. *Organizações e Sociedade*, 8(10), 37.
- Neumann, W. P., Kolus, A., & Wells, R. W. (2016). Human Factors in Production System Design and Quality Performance – A Systematic Review. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1721–1724.
- NP ISO 9001 (2015). *Norma Portuguesa para Sistemas de Gestão da Qualidade. Requisitos*. Instituto Português da Qualidade.
- NP ISO 10002 (2018). *Gestão da qualidade. Satisfação dos clientes. Linhas de orientação para tratamento de reclamações nas organizações*. Instituto Português da Qualidade.
- Park, C. Y., & Grandt, A. F. (2007). Effect of load transfer on the cracking behavior at a countersunk fastener hole. *International Journal of Fatigue*, 29(1), 146–157.
- Parreiras, P., Guimarães, E., Neves, J., & Jeunon, E. (2014). Inovação em Processos e Gestão da Qualidade: Análise da Implantação da Metodologia de WCM na Case New Holland. *Revista Inovação, Projetos e Tecnologias*, 2(1), 17–27.
- Plunkett, B. G. D. and J. (1999). *Quality Costing, Third Edition*.

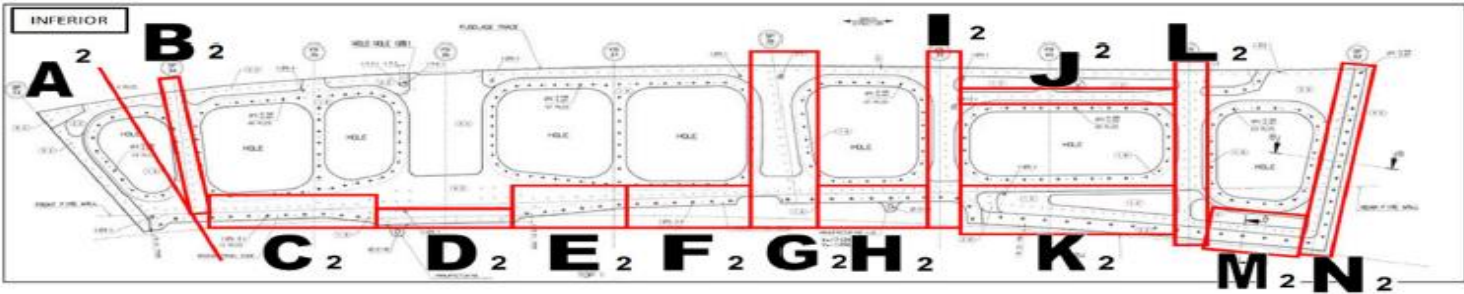
- Ramzi, R., & Bakar, E. A. (2018). Optical Wear Inspection of Countersink Drill Bit for Drilling Operation in Aircraft Manufacturing and Assembly Industry: A Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 370(1).
- Simga-Mugan, C., & Erel, E. (2000). Distribution of quality costs: Evidence from an aeronautical firm. *Total Quality Management*, 11(2), 227–234.
- Soković, M., Jovanović, J., Krivokapić, Z., & Vujović, A. (2009). Basic quality tools in continuous improvement process. *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 55(5), 1–9.
- Straker, D. (1995). *A Toolbook for Quality Improvement and Problem Solving*. Prentice Hall International (UK) Limited.
- Tarí, J. J., & Sabater, V. (2004). Quality tools and techniques: Are they necessary for quality management? *International Journal of Production Economics*, 92(3), 267–280.
- Technical Committee ISO/TC 176, Quality Management and quality assurance, Subcommittee SC 3, S. technologies. (2018). *DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO / FDIS Quality management — Customer satisfaction — Guidelines for complaints handling in organizations*. 2018.
- Yazdi, M., Daneshvar, S., & Setareh, H. (2017). An extension to Fuzzy Developed Failure Mode and Effects Analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system. *Safety Science*, 98, 113–123.
- Zhang, M., Guo, H., Huo, B., Zhao, X., & Huang, J. (2019). Linking supply chain quality integration with mass customization and product modularity. *International Journal of Production Economics*, 207(January 2017), 227–235.

Anexo I



	ACIMA DA TOLERÂNCIA	ABAIXO DA TOLERÂNCIA
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		
I		
J		

Anexo II

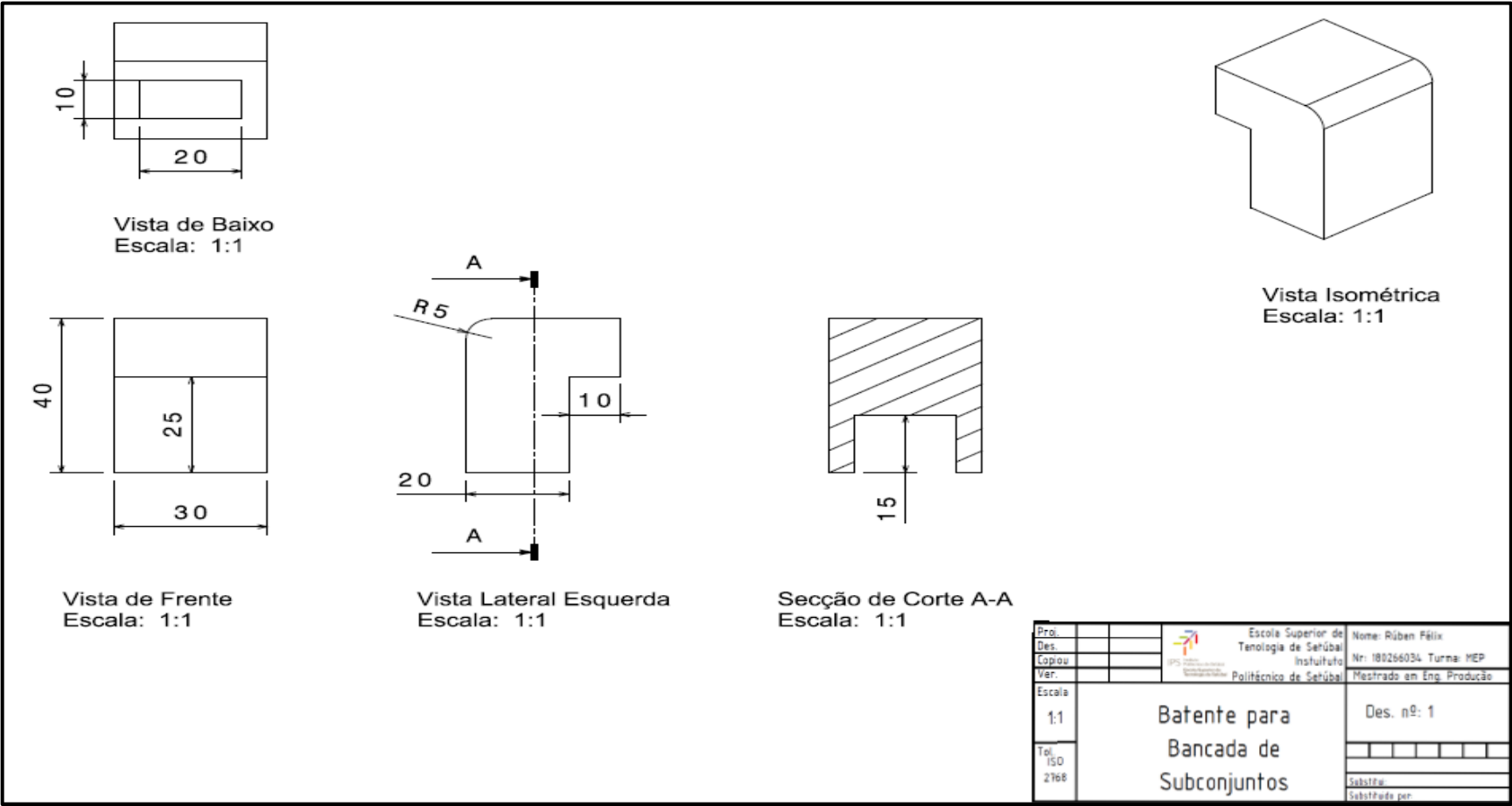


	ACIMA DA TOLERÂNCIA	ABAIXO DA TOLERÂNCIA
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		
I		
J		
K		
L		
M		
N		

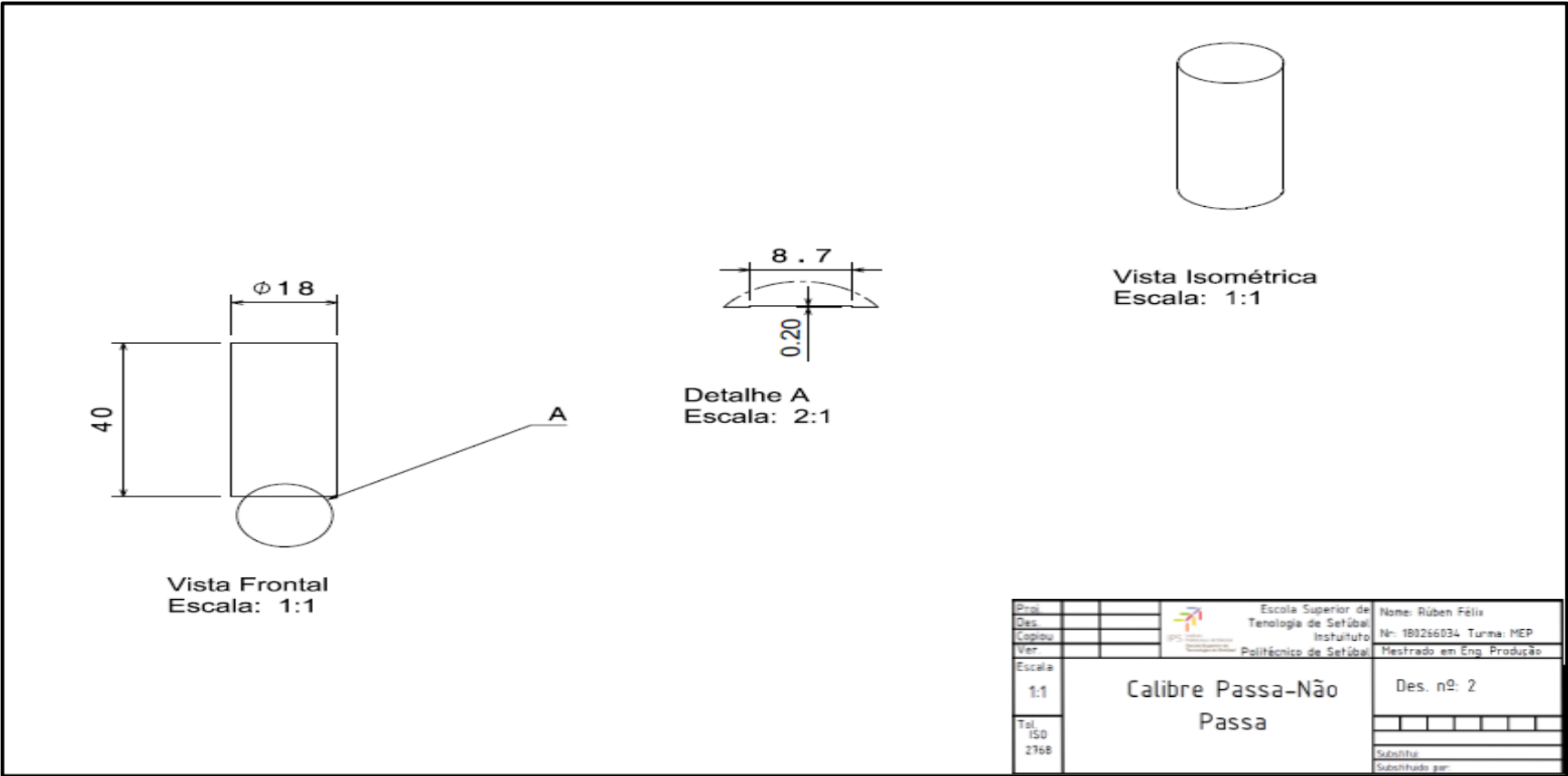
Anexo III

REGISTO REALIZAÇÃO MANUTENÇÃO PREVENTIVA													
Equipamento: Ferramentas de furação, corte e desbaste													
Dia/Semana		CW:											
				Segunda-Feira		Terça-Feira		Quarta-Feira		Quinta-Feira		Sexta-Feira	
STD	Nº	Descrição da Ação	Início Turno	Fim Turno	Início Turno	Fim Turno	Início Turno	Fim Turno	Início Turno	Fim Turno	Início Turno	Fim Turno	
TOMADA DE PUNTO	1	Verificar ausência de limas nas fresas de escarear antes de iniciar os trabalhos											
	2	Verificar a limpeza dos suportes micrométricos											
	3	Afinar suportes micrométricos no corpo de prova e efetuar marcação com torque seal											
INSPEÇÃO E LIMPEZA	4	Efetuar limpeza das fresas de escarear											
	5	Verificar a fresa de escarear e o seu piloto											
	6	Verificar a limpeza e o desgaste do limitador de teflon do suporte micrométrico											
	7	Verificar o torque seal dado aos suportes micrométricos											
	8	Verificar limpeza e desgaste da fresa de referência 322											
	9	Verificar limpeza e desgaste da fresa de referência 324											
	10	Verificar limpeza e desgaste da fresa de referência 903-08											
	11	Verificar limpeza e desgaste da fresa de referência 1154-57											
Não conforme	Operador												
	Validação	Monitor											
		Supervisor											
LEGENDA:			<input type="radio"/>	Sem anomalia		<input checked="" type="radio"/>	Com anomalia						
* - Para qualquer anomalia detectada colocar etiqueta vermelha													
REGISTO ANOMALIA EQUIPAMENTO													
Nº	Descrição anomalia								Data Detecção		Observações		

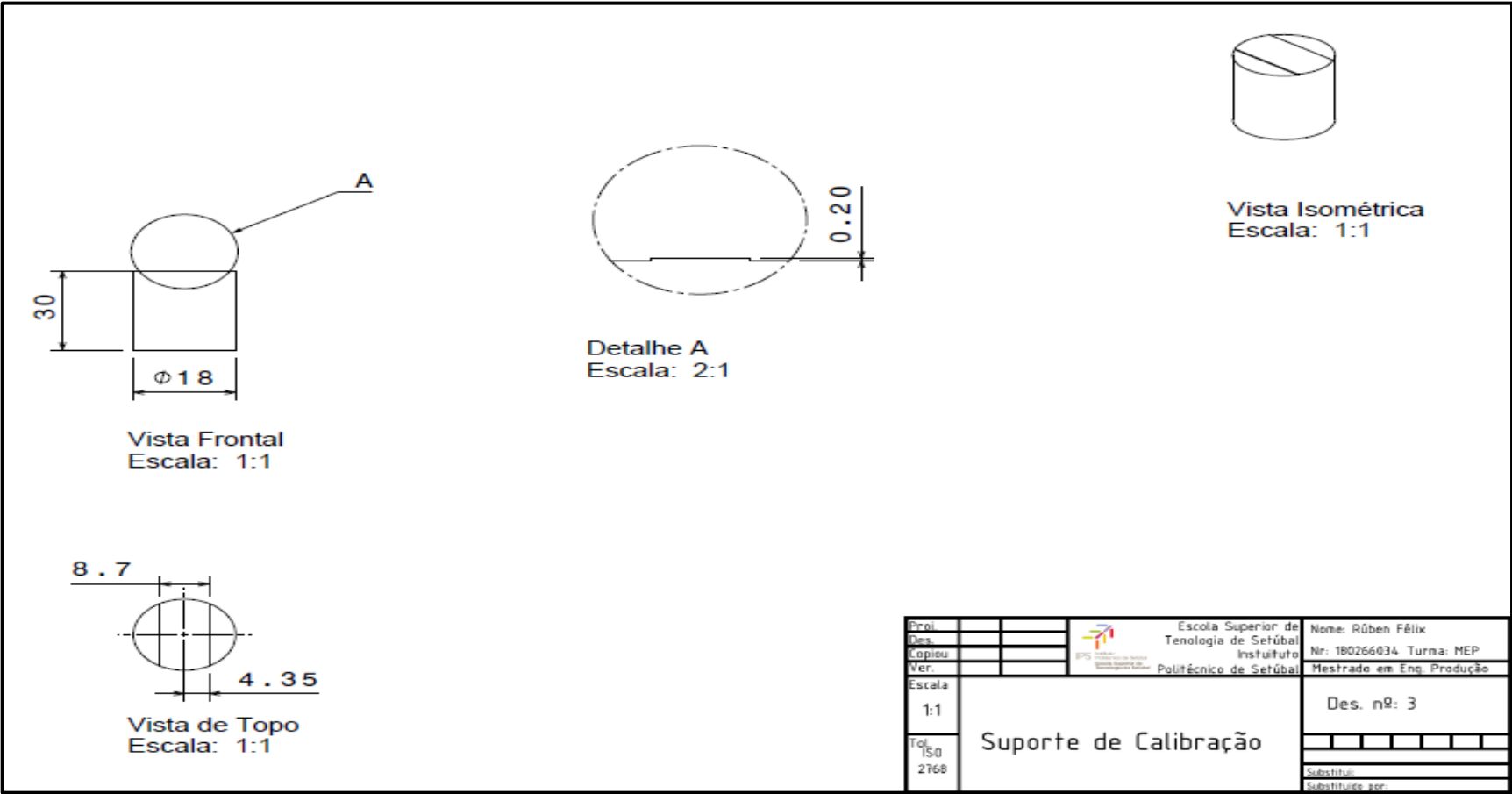
Anexo IV



Anexo V



Anexo VI



Anexo VII

Procedimento Calibração do Calibre Passa – Não Passa

Objetivo:

O propósito deste procedimento de calibração, é de garantir a conformidade do calibre passa – não passa, isto é, se a altura do rasgo do calibre que efetua a avaliação do *flushness* dos elementos cravados, rebites ou parafusos, se encontra de acordo desenho.

Material:

- Calibre Passa – Não Passa;
- Suporte Calibração;
- Projetor de Perfis.

Procedimento:

O calibre passa – não passa deve ser posicionado na face superior do suporte de calibração, onde se encontra o negativo do respetivo calibre, isto é, pelo rasgo onde é feita a verificação do *flushness* (Figura 1).

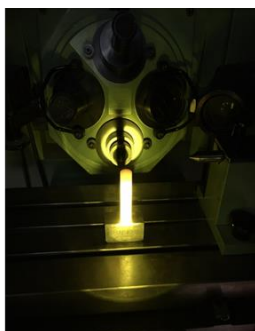
De seguida deve-se posicionar os dois elementos na base do projetor de perfis e ligar o mesmo (Figura 2), de forma a aparecer a luz e efetuar a verificação do correto assentamento do conjunto calibre passa – não passa e suporte calibração, podendo se obter dois resultados:

- Se o feixe de luz do projetor de perfis não ultrapassar os dois elementos (Figura 3), considera-se que o calibre se encontra conforme e capaz de continuar a sua função;
- Se o feixe de luz do projetor de perfis ultrapassar os dois elementos e for visível o rasgo entre eles, significa que o calibre passa – não passa sofreu desgaste e já não garante a função para que foi projetado.

Caso se encontre não conforme, deve ser colocado de parte e não deve ser utilizado na inspeção do *flushness* dos elementos. Esta procedimento deve ser realizado mensalmente.



1



2



3